



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Institut für Nukleare Sicherheitsforschung

**Verhalten des Wärmeschutzsystems
des PNP-500 Spannbetonbehälters**

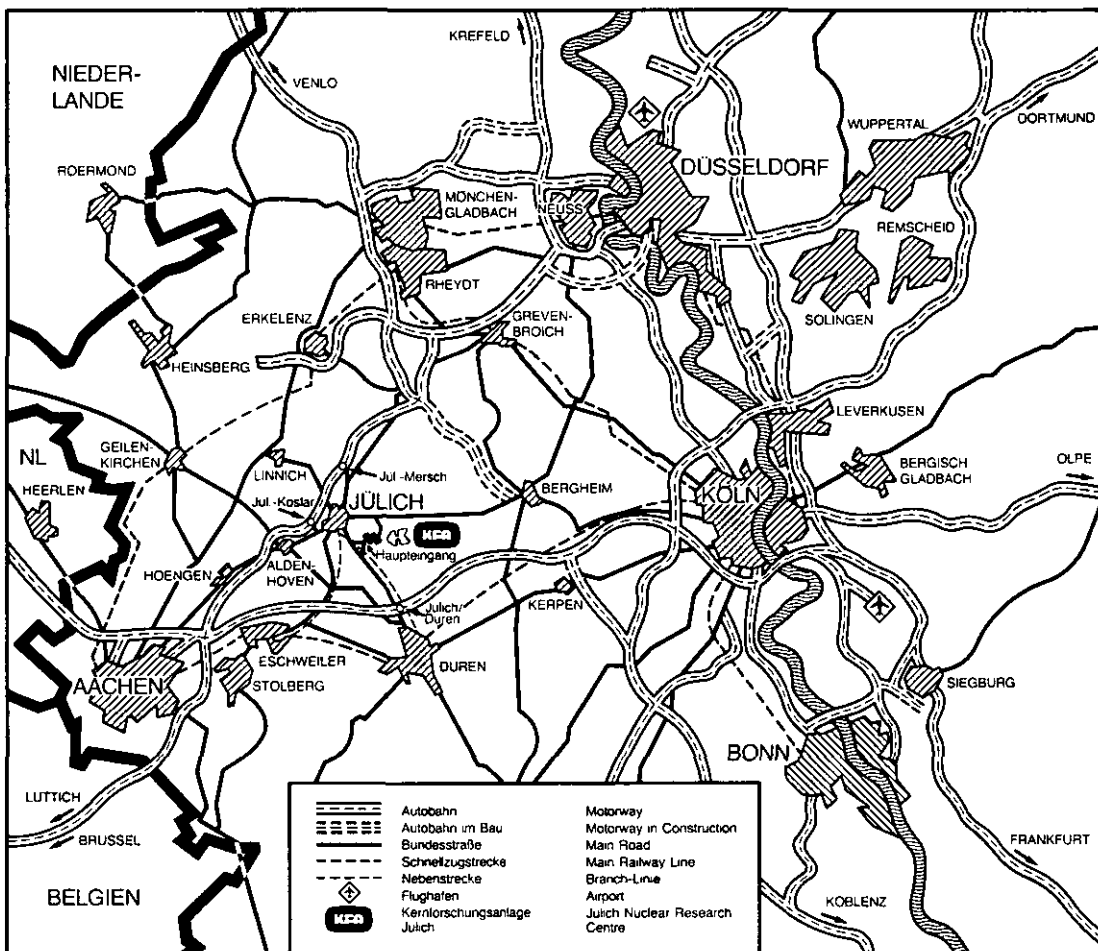
von

J. Altes u. D. Koschmieder

Jül - Spez - 168

August 1982

ISSN 0343-7639



Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 168

Institut für Nukleare Sicherheitsforschung Jülich - Spez - 168

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
Telefon: 02461/610 · Telex: 833 556 kfa d

Verhalten des Wärmeschutzsystems des PNP-500 Spannbetonbehälters

von

J. Altes u. D. Koschmieder

Kurzfassung

Im Rahmen der für die PNP-500 Anlage untersuchten Kernaufheizstörfälle mit funktionierender Linerkühlung wurde auch das Verhalten des Wärmeschutzsystems der Spannbetonbehälterdecke analysiert. Im Bereich der Decke wird das Wärmeschutzsystem beim Störfall am stärksten beansprucht. Es wird die Frage beantwortet, ob bei den sich während des Störfalls einstellenden Temperaturen Versagen auftritt oder sich für das Kühlsystem Gefährdungen durch Instabilitäten ergeben.

Die umfangreichen Finite-Element-Berechnungen bis zu Störfalltemperaturen von 1000° C haben ergeben, daß das Wärmeschutzsystem des PNP-500 Spannbetonbehälters intakt bleibt. Weder bei den Haltebolzen, die für die Stabilität der Isolierung entscheidend sind, noch beim Kühlsystem werden kritische Temperaturen erreicht. Dies ist selbst bei Ausfall eines Stranges des Linerkühlsystems der Fall. Unter der Annahme des Versagens der Isolierung und gleichzeitigem Ausfalls eines Kühlrohrstranges ist jedoch mit einer großflächigen Zerstörung des SBB zu rechnen.

Abstract

Within a study of unrestricted core heatup accidents with operating liner cooling system for a PNP-500 plant the behaviour of the thermal barrier of the prestressed concrete pressure vessel was analysed. The thermal barrier endures the highest temperatures during the accident in the top region. The question is answered if these temperatures cause failure or if instabilities occur in the liner cooling system.

The extensive finite element calculations up to accident temperatures of 1000° C show that the thermal barrier of the vessel remains intact. Neither the retainers which are decisive for the stability of the isolation nor the cooling system reach critical temperatures. This is valid even for the failure of one of the two independent cooling systems. One has to take into account the global failure of the PCRV under the assumption of the failure of the isolation and the simultaneous loss of one cooling system.

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Einleitung	1
2. Unterlagen	1
3. Rechenprogramm	1
4. Untersuchte Modelle	1
5. Berechnungen und Ergebnisse	2
5.1 Normalbetrieb	2
5.2 Grenzbetrachtungen	3
5.3 Kernaufheizstörfall	4
5.4 Temperaturen im Liner-Kühlsystem	4
6. Schlußfolgerungen	5
7. Literatur	6

Anlagen

Abbildungen

1. Einleitung

Im Rahmen der für die PNP-500 Anlage /1/ untersuchten Kernaufheizstörfälle mit funktionierender Linerkühlung wurde auch das Verhalten des Wärmeschutzsystems der Spannbetonbehälterdecke bestehend aus Abdeckplatten, Haltebolzen, Isolierung, Liner und Linerkühlsystem analysiert. Im Bereich der Decke wird das Wärmeschutzsystem beim Störfall am stärksten beansprucht. Es soll die Frage beantwortet werden, ob bei den sich während des Störfalls einstellenden Temperaturen Versagen auftritt oder sich für das Kühlsystem Gefährdungen durch Instabilitäten ergeben.

2. Unterlagen

Die geplante Konstruktion der Behälterisolierung, des Liners und des Kühlsystems wurde einschließlich der temperaturabhängigen Materialkennwerte /2/ entnommen. Die thermischen Materialkennwerte wurden durch /3,4,5/ ergänzt. Nach den Untersuchungen in /5/ tritt Versagen von Isolierung und Abdeckplatten dann auf, wenn in den Haltebolzen an der kritischen Stelle (in der Nähe des Liners) etwa 1000°C auftreten, weil dann die Festigkeit gegen Null geht. Liner und Stahlbeton versagen ebenfalls bei etwa 1000°C , während bei unbewehrtem Beton ab 800°C mit Versagen zu rechnen ist.

3. Rechenprogramm

Die Temperaturberechnungen wurden mit dem Finite-Element-Programm SMART /6/ durchgeführt. Für alle Konstruktionsmaterialien wurden temperaturabhängige Materialkennwerte verwendet.

4. Untersuchte Modelle

Die geplante Konstruktion der Isolierung wurde einschließlich der Abdeckplatten und des für die Wärmeeinleitung wichtigen Haltebolzens sowie des Liners mit den Kühlrohren und dem angrenzenden Beton in rotationssymmetrischen und ebenen Finite-Element-Modellen abgebildet (Abb. 1). Die Lage der Kühlrohre wurde für die beiden möglichen Grenzfälle variiert (Abb. 2). Außerdem ist die Auswirkung des Ausfalls eines Kühlrohrstranges des zweisträngig aufgebauten Linerkühlsystems analysiert worden. In einem dreidimensionalen Modell (Abb. 3) wurde die Gültigkeit der zweidimensionalen Modelle stichprobenartig überprüft.

Die sich beim Störfall auf der Coreseite ergebenden Temperaturen wurden /7/ entnommen und mit Hilfe einer Wärmeübergangszahl zwischen Gas und Abdeckplatten in das Modell eingeleitet (Anlage 1). Die Kühlwassertemperatur in den Kühlrohren wurde mit 49°C und die Wärmeübergangszahl zwischen Rohr und Wasser nach /8/ zu rd. $5660\text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt.

5. Berechnungen und Ergebnisse

Die Rechnungen wurden für den Normalbetrieb sowie für eine von den Abdeckplatten maximal aufnehmbare Temperatur von rd. 1000°C und den Kernaufheizstörfall durchgeführt.

5.1 Normalbetrieb

Ausgegangen wurde bei allen Berechnungen von der Temperaturverteilung des stationären Betriebszustandes (Gastemperatur 340°C) bei Betrieb beider Kühlrohrstränge (Abb. 4). Als Wärmeübergangszahl wurde ein hoher Wert von $1000\text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt, so daß die Abdeckplatten etwa die Gastemperatur annehmen. Die Temperaturen entlang der inneren Kühlrohrwand im linken, höher belasteten Kühlrohr gibt Abb. 5 und in der Modellachse durch den Bolzen Abb. 6. Für das Modell mit geänderter Lage der Kühlrohre sind die Ergebnisse in den Abb. 7 - 10 enthalten. Am Liner treten unter dem Bolzen maximal etwa 110°C auf, während in den übrigen Bereichen nur etwa 60°C vorhanden sind. Der Beton erhält unter dem Bolzen lokal maximal rd. 100°C .

Ein Unterschied in den Temperaturfeldern für die beiden Varianten der Kühlrohranordnung ergibt sich nur lokal in der unmittelbaren Umgebung des Kühlrohres unter dem Bolzen. In diesem Kühlrohr (Abb. 8) treten höhere Temperaturen (max. 65°C) auf als in den übrigen Kühlrohren (Abb. 9 und 5).

Für die Ermittlung der Temperaturbelastung des Linerkühlsystems insgesamt - vor allem für das Kühlrohr unter dem Bolzen - geben die rotationssymmetrischen Modelle zu ungünstige Werte, da sie nur für die unmittelbare Umgebung der Bolzen zutreffende Temperaturen liefern. Deshalb wurde mit einem ebenen Modell und im Bereich des Bolzens mit verschmierten wärmetechnischen Materialkennwerten gerechnet (Abb. 11). Es ergeben sich gegenüber dem rotationssymmetrischen Modell im Bereich des Bolzens niedrigere Temperaturen (Vergleich Abb. 11 mit Abb. 7).

5.2 Grenzbetrachtungen

Bei Störfalltemperaturen von rd. 1000°C versagen Abdeckplatten und Isolierung. Die sich für diesen Fall an den Abdeckplatten einstellenden Temperaturen sind in den Abb. 12 - 14 bzw. 15 - 18 dargestellt. Hier ergeben sich ebenfalls nur in unmittelbarer Nähe des linken Kühlrohres Unterschiede. Die maximalen Temperaturen betragen lokal am Liner 230°C und im Beton 195°C (Abb. 12 und 14). Die maximale Kühlrohrtemperatur liegt am linken Kühlrohr bei 96°C (Abb. 16). Aufgrund dieser Temperaturen ist kein Versagen von Abdeckplatten, Isolierung, Liner und Beton festzustellen.

Die Auswirkungen des Ausfalls eines Stranges des Linerkühlsystems wurde für die möglichen Kombinationen untersucht (Abb. 19 - 26). Für den Liner und Beton ergeben sich im ungünstigsten Fall lokal maximale Temperaturen von 360°C (Abb. 19) und für ein Kühlrohr von 120°C (Abb. 24). Auch diese Temperaturen führen zu keinem Strukturversagen. Die Siedetemperatur von Wasser liegt bei dem vorhandenen Druck im Kühlsystem von 8,6 bar bei 172°C . Zu beachten ist dabei, daß sich für das Modell in Abb. 19 zu ungünstige Temperaturen ergeben, da der Einfachheit halber kein neues Modell erstellt wurde, sondern der Teil rechts von der Mitte des rechten Kühlrohres (= Symmetrieebene) aus bis zum Rand im Modell belassen wurde. Die Temperaturen im Modell der Abb. 21 liegen aus demselben Grund daher etwas zu niedrig.

Zur Kontrolle, ob es zulässig ist, mit dem wesentlich weniger kosten- und zeitintensiven rotationssymmetrischen bzw. ebenen Modell zu rechnen, wurden mit einem dreidimensionalen Modell (Abb. 3) Vergleichsuntersuchungen durchgeführt (Abb. 27 - 30). Der Vergleich der Temperaturen zwischen Abb. 27 und Abb. 12 bzw. Abb. 28 und Abb. 13 bzw. Abb. 30 und Abb. 14 führt zu einer ausgezeichneten Übereinstimmung in der ungünstigsten Schnittebene (ABCD in Abb. 27). In Wirklichkeit sind die Verhältnisse jedoch günstiger als mit dem rotationssymmetrischen Modell berechnet, da die Temperaturen senkrecht zu dieser Ebene abnehmen (Beispiel: Kühlrohr in Abb. 29). Man liegt also mit einer rotationssymmetrischen Untersuchung auf der sicheren Seite.

Schließlich ist noch mit dem ebenen Modell der sehr ungünstige Fall untersucht worden, daß sowohl die Isolierung versagt hat als auch nur ein Strang des Linerkühlsystems in Betrieb bleibt, während der andere Strang ausgefallen ist (Abb. 31). Die Wärme wird durch Strahlung vom 1005°C heißen Thermischen Schild auf die Spannbetonbehälterdecke übertragen. Der Wärmeübergang in den Kühlrohren bleibt bis zum Erreichen der Siedetemperatur (172°C bei 8,6 bar) konstant /8/. Falls die Siedetemperatur überschritten würde, ergäbe sich eine

mit steigender Temperatur zunehmende Wärmeübergangszahl $\alpha = 1,38 (T - T_s)^{2,57} p^{0,858}$ (Abb. 32). Die Temperaturverteilung am Liner geht aus Abb. 33 hervor. Da der Liner bei funktionierendem Linerkühlsystem nicht seine Versagens-temperatur von 1000° C /5/ erreicht, bleibt er intakt, was durch überschlägliche Berechnungen mit pessimistischen Annahmen bestätigt wird (Anlage 2). Es ist aber - wie später gezeigt wird - davon auszugehen, daß das Linerkühlsystem bei der vorgesehenen Auslegung versagen wird (Abschn. 5.4).

Die Berechnungen wurden bis zum Zeitpunkt 5,7 h nach Störfallbeginn durchgeführt, da dann schon näherungsweise der stationäre Zustand erreicht worden ist (Abb. 34). Unter der Annahme eines hyperbolischen Verlaufs der Temperatur-Zeitkurven lassen sich die asymptotischen Grenzwerte (stationärer Zustand) nach Abb. 35 ermitteln. Sie sind in Abb. 34 eingetragen worden.

5.3 Kernaufheizstörfall

Die ungünstigste Kühlrohranordnung (Modell Abb. 1) ist für die sich nach /7/ ergebenden Störfalltemperaturen von 850° C am thermischen Schild und 820° C an den Abdeckplatten sowohl für beide Stränge des Kühlsystems in Betrieb als auch bei ausgefallenem rechten Strang untersucht worden (Abb. 36 bis 41). Die Wärmeübergangszahl an den Abdeckplatten wurde nach Anlage 1 ermittelt. Außerdem ist das ebene Modell mit verschmierten thermischen Kennwerten für den Haltebolzen und ausgefallenem Kühlrohrstrang berechnet worden (Abb. 42-44). Erwartungsgemäß ergibt sich auch für diese Fälle an keiner Stelle Strukturversagen.

5.4 Temperaturen im Linerkühlsystem

Ermittelt man die bei Betrieb und Störfall im Kühlrohr auftretenden Wärmeflüsse und berechnet daraus die mittlere Temperaturerhöhung des Kühlwassers, so ergibt sich beim Kernaufheizstörfall für das maßgebende ebene Modell bei einer mittleren Kühlrohrlänge von 36,5 m eine Temperaturerhöhung von $\frac{0,9 + 0,4}{2} \cdot 36,5 = 24° \text{ C}$. Lokal treten im Bereich der Bolzen Erhöhungen um bis zu 7° C auf (Anlage 3). Dies sind unkritische Werte.

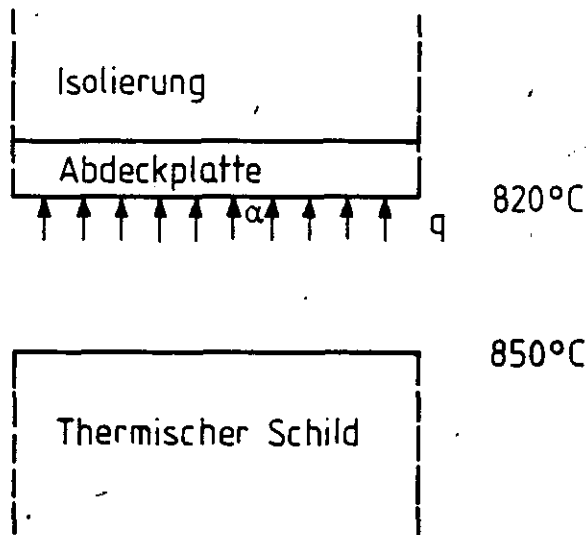
Im Falle der abgefallenen Isolierung stellt sich eine Temperaturerhöhung von rd. 10° C/m ein. Nach etwa 13 m wird also die Siedetemperatur des Wassers (172° C) überschritten. Es müssen dann rd. 50 % des Wassers im Kühlrohr verdampfen, um die Wärme abzuführen. Dabei ist aber mit Dampfblockage der Rohre zu rechnen, d.h. es wird sich ein Versagen einstellen.

6. Schlußfolgerungen

Die umfangreichen Berechnungen bis zu Störfalltemperaturen von 1000° C haben ergeben, daß das Wärmeschutzsystem des PNP-500 Spannbetonbehälters intakt bleibt. Weder bei den Haltebolzen, die für die Stabilität der Isolierung entscheidend sind, noch beim Kühlsystem werden kritische Temperaturen erreicht. Dies ist selbst bei Ausfall eines Stranges des Linerkühlsystems der Fall. Unter der Annahme des Versagens der Isolierung und gleichzeitigem Ausfalls eines Kühlrohrstranges ist jedoch mit einer großflächigen Zerstörung des SBB zu rechnen.

7. Literatur

- /1/ PNP - Referenzkonzept der Prototypanlage Nukleare Prozeßwärme PNP,
Gesamtanlage und Kraftwerk
Februar 1981
- /2/ HRB - PNP, Behälterisolierung, Bericht CB 0258
Mai 1978
- /3/ KFA-ISF - Spannbetonbehälter unter hypothetischen Störfallbelastungen,
Forschungsvorhaben RS 447
1. Zwischenbericht, 1981
- /4/ Schneider, Diederichs - Physikalische Eigenschaften von Beton und Stahl
im Bereich 20° C bis zum Schmelzen
Abschlußbericht, März 1980
- /5/ Zerna, Schnellenbach und Partner - Studie zum Verhalten von Spannbeton-
Reaktordruckbehältern unter hypothetischen Störfallbelastungen
Bericht Nr. 1, Dezember 1980
- /6/ ISD - SMART II, Benutzerhandbücher
ISD Berichte 187, 1976 und 192, 1979.
- /7/ Rehm
Einfluß des Liner-Kühlsystems beim PNP-500 bei Coreaufheizstörfällen
Aktennotiz 25/81-I vom 12.8.1981
- /8/ Breitbach
Wärmeübergangszahl für durchströmte Vierkantrohre
Aktennotiz 29/II 1981 vom 29.9.81



$$q = \alpha (T_{\text{Th. Sch.}} - T_{\text{Ab. Pl.}})$$

$$\alpha = \frac{q}{T_{\text{Th. Sch.}} - T_{\text{Ab. Pl.}}}$$

Der Wärmeübergangskoeffizient α wird aus dem Wärmestrom q errechnet, der sich aus der nach 171 an den Abdeckplatten vorhandenen Temperatur von 820°C und einer Linertemperatur von 50°C ergibt.

$$\lambda_{\text{iso}} = 0,2 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot T_{\text{Mittel}}$$

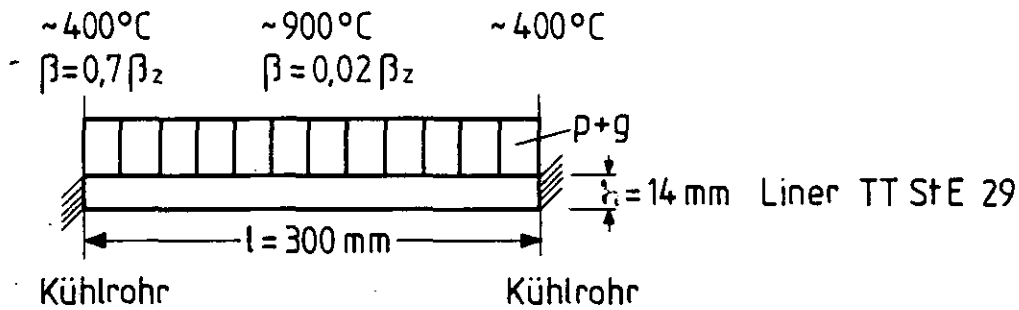
$$q = \frac{\lambda_{\text{iso}}}{d} (T_{\text{Ab. Pl.}} - T_{\text{Liner}})$$

$$q = \frac{0,2 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-6} \frac{820+50}{2}}{71} (820-50)$$

$$q = 0,00453 \frac{\text{W}}{\text{mm}^2}$$

$$\alpha = \frac{0,00453}{850-820} = \underline{\underline{0,151 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{mm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}}}$$

Anlage 2



Annahme: Liner nur noch im Bereich der Kühlrohre mit intakter Kühlung am SBB verankert, dazwischen nicht verankert, belastet durch Eigengewicht g und 5 cm zersetzter Betonschicht p .

Festigkeit für den Linerstahl aus /5/:

$$\text{bei } 900^\circ \text{ C: } \beta = 0,02 \quad \beta_z = 0,02 \cdot 290 = 5,8 \text{ N/mm}^2.$$

Biegespannung in Linerfeldmitte:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{(p+g) l^2}{24} \cdot \frac{6}{b \cdot h^2} = 114,8 \cdot (p+g) \text{ N/mm}^2$$

$$p = 14 \cdot 1 \cdot 76000 \cdot 10^{-9} \text{ N/mm} = 1,064 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}$$

$$g = 50 \cdot 1 \cdot 22000 \cdot 10^{-9} \text{ N/mm} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{\max} = 114,8 \cdot (1,064 + 1,100) \cdot 10^{-3} = 0,2 \text{ N/mm}^2 < 5,8 \text{ N/mm}^2$$

Durchbiegung in Linerfeldmitte:

$$f = \frac{(p+g) l^4}{384 \cdot E \cdot J} = 4,39 (p+g) = 2,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,44 \sim 10^{-3} \text{ mm}$$

Biegespannung und Durchbiegung haben unkritische Werte, so daß kurzzeitig kein Linerversagen zu erwarten ist. Auch langfristig (Kriechen) scheint kein Versagen aufzutreten.

Die aus Temperaturbelastung entstehenden Zwängungsspannungen werden durch Verformung des Liners abgebaut.

Anlage 3

Modell	Kühlung	Abb.	Kühlrohr	Wärmefluß [W/m]	Temperaturerhöhung ΔT [°C/m]
<u>Betriebszustand</u>					
Abb. 1 rot. symm.	beide Stränge	4,5 4	links rechts	411 193	
Abb. 2 rot. symm.	beide Stränge	7,8 7,9 7	links Mitte rechts	2726 256 180	
eben	beide Stränge	11	links Mitte rechts	208 183 184	
<u>Störfall $T = 1000^\circ \text{C}$</u>					
Abb. 1 rot. symm.	beide Stränge	12,13 12	links rechts	1481 960	0,8 0,5
	nur linker Strang	19,20	links	3664	2,3
	nur rechter "	21,22	rechts	1383	0,8
Abb. 2 rot. symm.	beide Stränge	15,16 15,17 15	links Mitte rechts	8194 1118 898	3,9 0,6 0,5
	linker/rechter Strang	23,24 23	links rechts	12804 1814	7,1 1,1
	mittlerer Strang	25,26	Mitte	2049	1,3
eben, ohne Isolierung	linker/rechter Strang	31,32 31	links rechts	14640 14640	10,2 10,2
<u>Störfall $T = 820^\circ \text{C}$</u>					
Abb. 1 rot. sym.	beide Stränge	36,37 36	links rechts	1102 676	0,5 0,3
	nur linker Strang	40	links	2738	1,6
Abb. 2 eben	linker/rechter Strang	42,43	links	1418	0,9
	mittlerer Strang ausgefallen	42	rechts	1208	0,4

Linerkühlsystemauslegung:

$$v_w = 1 \text{ m/s} \quad F_{\text{Rohr}} = 3,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Kühlwassermenge } V_w = 3,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ m/s} = 3,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Temperaturerhöhung des Kühlwassers gegenüber dem Betriebszustand infolge höherem Wärmefluß beim Störfall:

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{V \cdot c \cdot \rho} = \frac{\Delta Q}{3,38 \cdot 10^{-4} \cdot 4187 \cdot 1000} = \frac{\Delta Q}{1415} = \frac{Q_{\text{Störfall}} - Q_{\text{Betrieb}}}{1415}$$

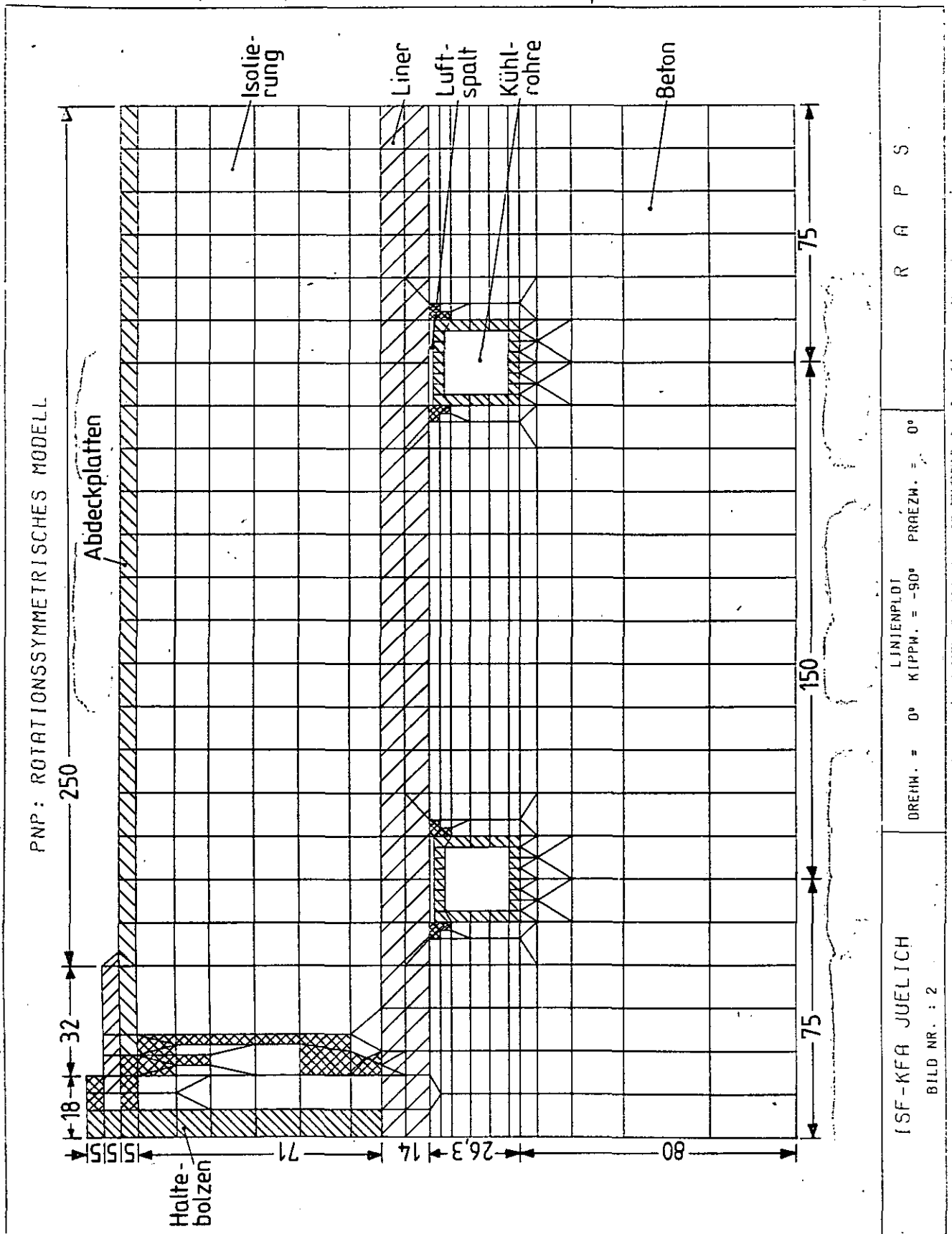
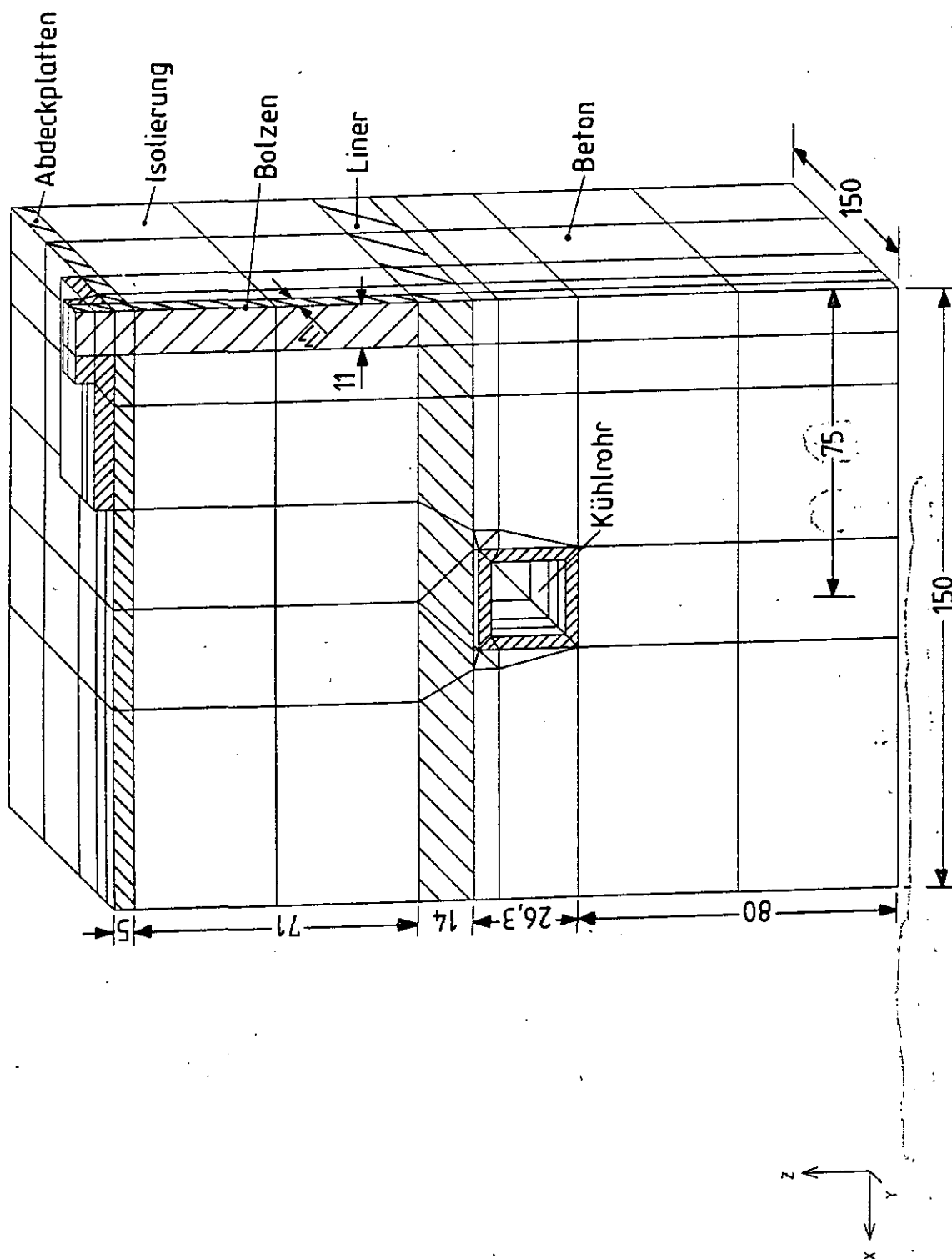


Abb. 1: Rotationssymmetrisches Finite-Element-Modell mit Kühlrohren neben dem Haltebolzen.

PNP: BOLZEN, DREIAXIALES MODELL



R A P S

HIDDEN-LINE-PLOT
DREHW. = -170° KIPPW. = 10° PRAEZH. = 0°

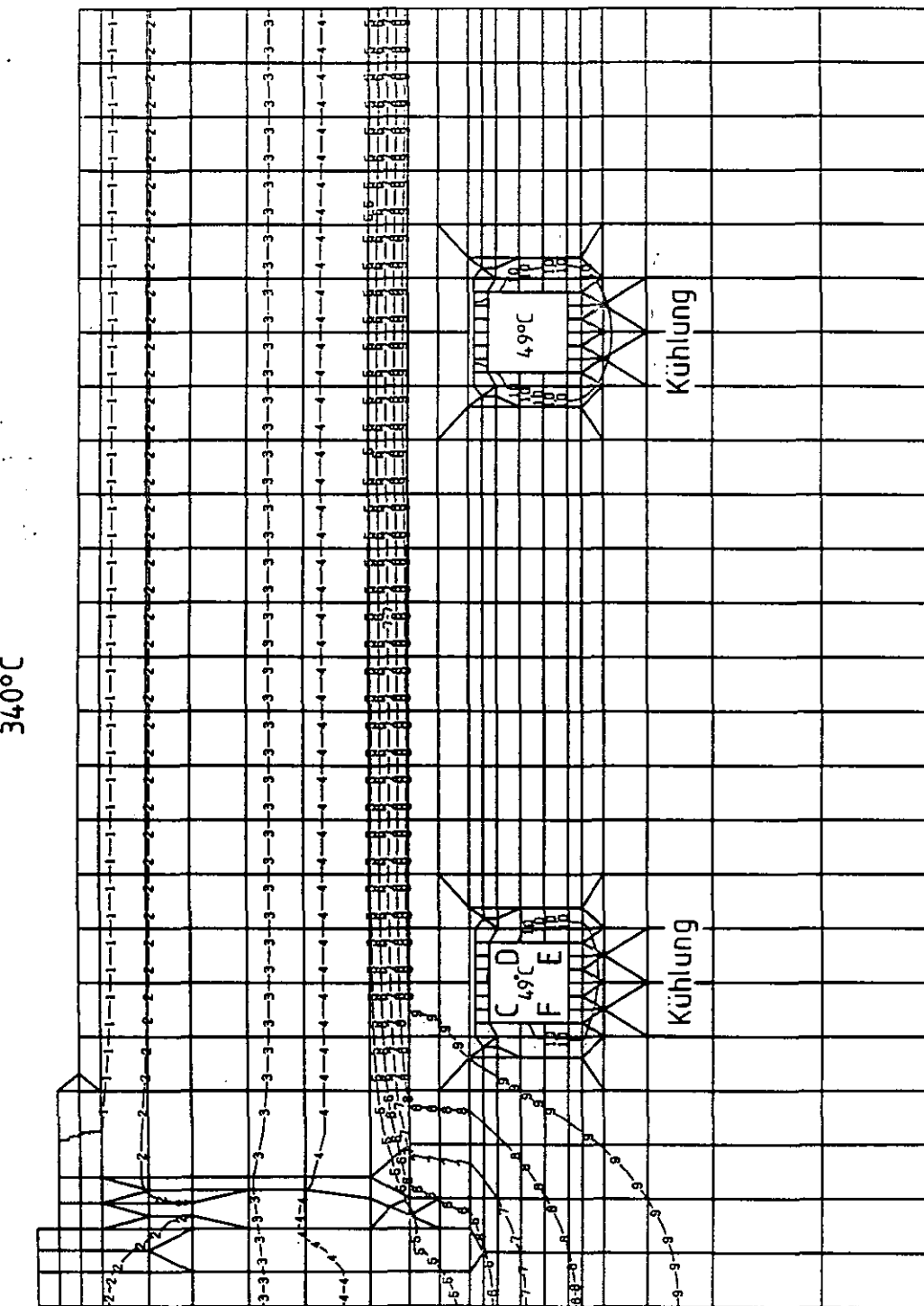
ISF-KFA JUELICH
BILD NR. : 2

Abb. 3: Dreiaxiales Finite-Element-Modell.

PNP: ROT.SYM. MODELL. KUEHLUNG JA JA, BETRIEBSTEMPERATUR 340°C

GRAD C

- 1= 3.300E+2
- 2= 3.000E+2
- 3= 2.000E+2
- 4= 1.500E+2
- 5= 1.000E+2
- 6= 9.000E+1
- 7= 8.000E+1
- 8= 7.000E+1
- 9= 6.000E+1
- 10= 5.000E+1



MINIMALWERT: 4.909E+1 GRAD C
MAXIMALWERT: 3.388E+2 GRAD C

B

GEPLOTTETER BEREICH X MIN = 0.000E 0 Y MIN = -2.063E+2 Z MIN = 0.000E 0
MAX = 3.000E+2 MAX = 0.000E 0 MAX = 0.000E 0

ISF-KFA JUELICH

BILD NR. : 1

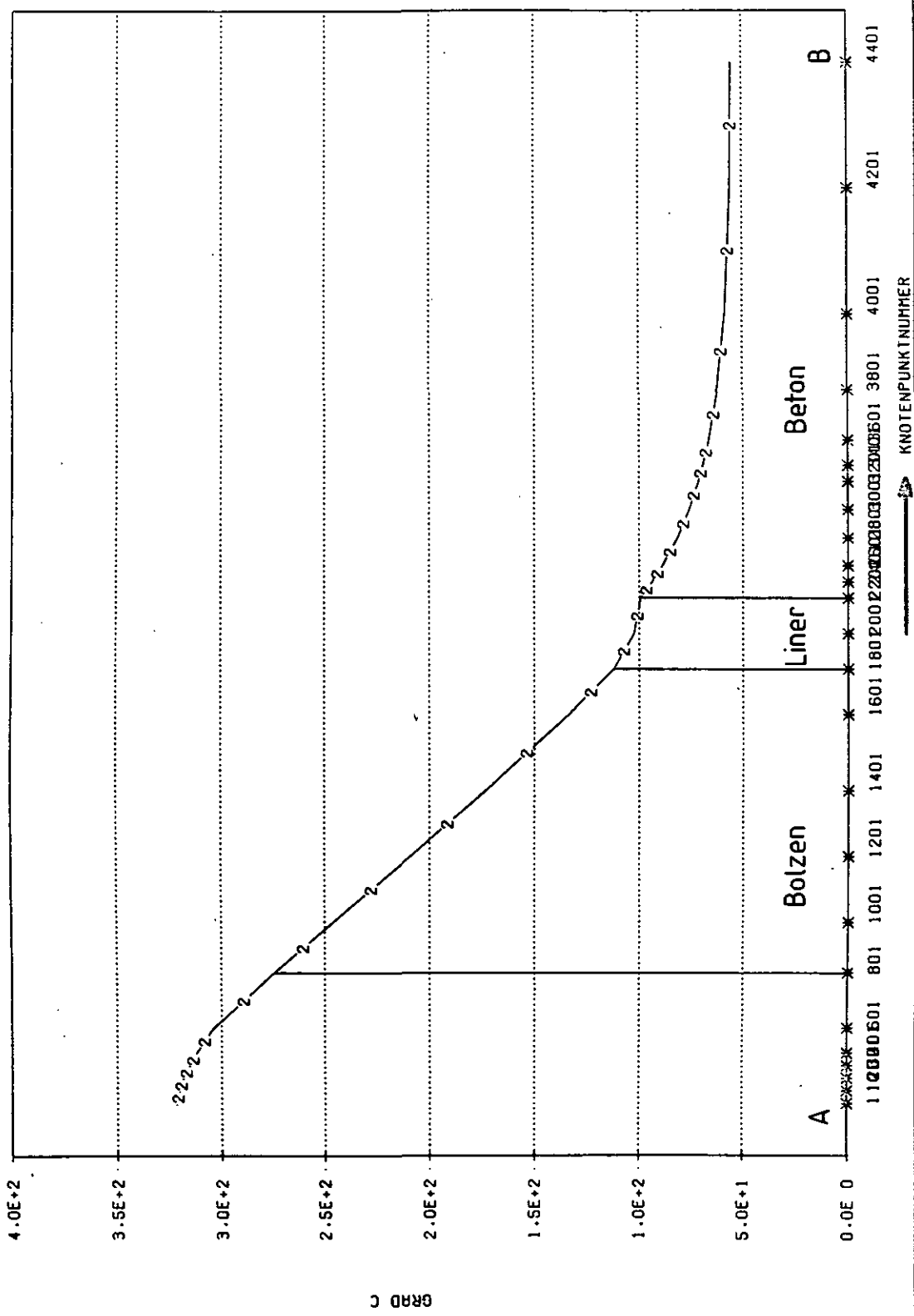
LINIENPLOT

DREHWINKEL = 0° KIPPWINKEL = -90°
ISOLINIEN, TEMPERATUREN, LASTFALL 2

R A P S

Abb. 4: Temperaturverteilung für den Betriebszustand mit Kühlung in beiden Strängen beim rotationssymmetrischen Modell.

PNP: ROT.SYM. MODELL. KUEHLUNG JA JA. BETRIEBSTEMPERATUR



ISF-KFA JUELICH
BILD NR. : 5

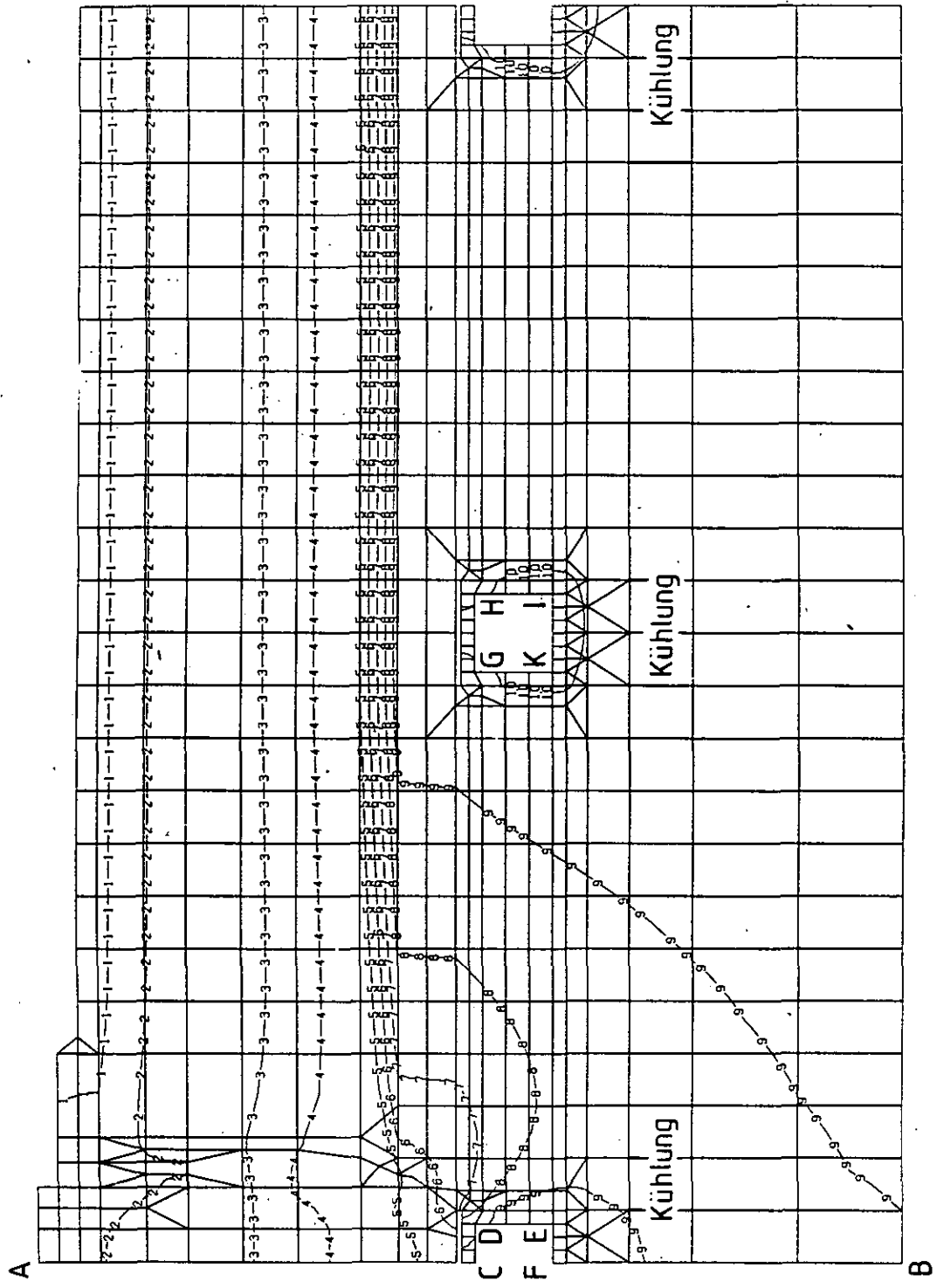
Schnitt A-B (Achse)

R A P S

Abb. 6: Temperaturverteilung in der Achse des rotationssymmetrischen Modells der Abb. 4.

PNP: ROT.SYM. MODELL. KUEHLUNG JA JA JA; BETRIEBSTEMPERATUR

- GRAD C
- 1= 3.300E+2
 - 2= 3.000E+2
 - 3= 2.000E+2
 - 4= 1.500E+2
 - 5= 1.000E+2
 - 6= 9.000E+1
 - 7= 8.000E+1
 - 8= 7.000E+1
 - 9= 6.000E+1
 - 10= 5.000E+1



GEPLOTTETE ELEMENTGRUPPEN: 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.19

MAXIMALWERT: 3.388E+2 GRAD C
MINIMALWERT: 4.908E+1 GRAD C

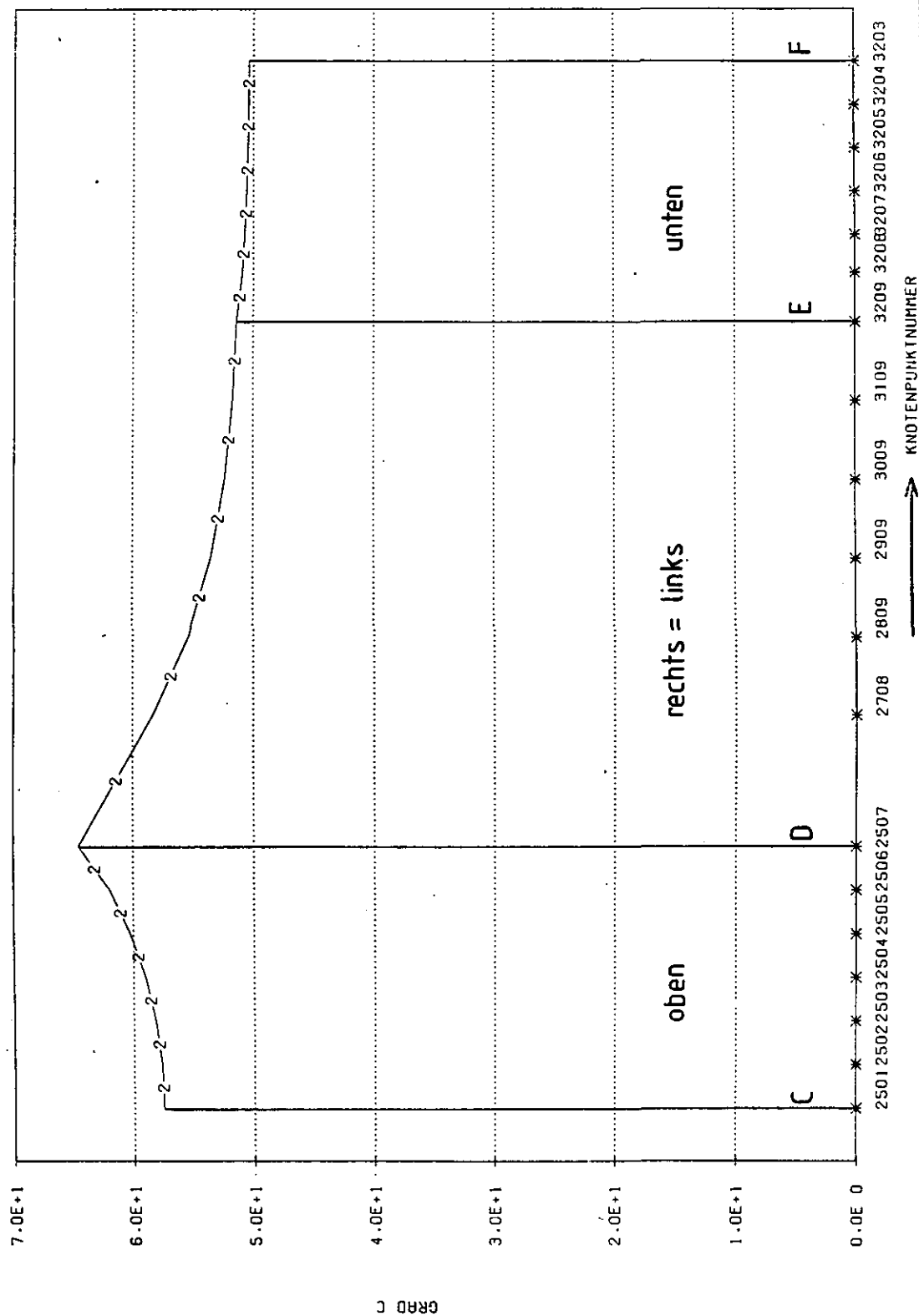
R A P S

LINIENPLOT
DREHWINKEL = 0° KIPPWINKEL = -90°
ISOLINIEN, TEMPERATUREN, LASTFALL 2

ISF-KFA JUELICH
BILD NR. : 2

Abb. 7: Temperaturverteilung für den Betriebszustand mit Kühlung in beiden Strängen beim rotationssymmetrischen Modell und Kühlrohr unter dem Haltebolzen.

PNP: ROT-SYM. MODELL. KUEHLUNG JA JA JA. BETRIEBSTEMPERATUR



ISF-KFA JUELICH

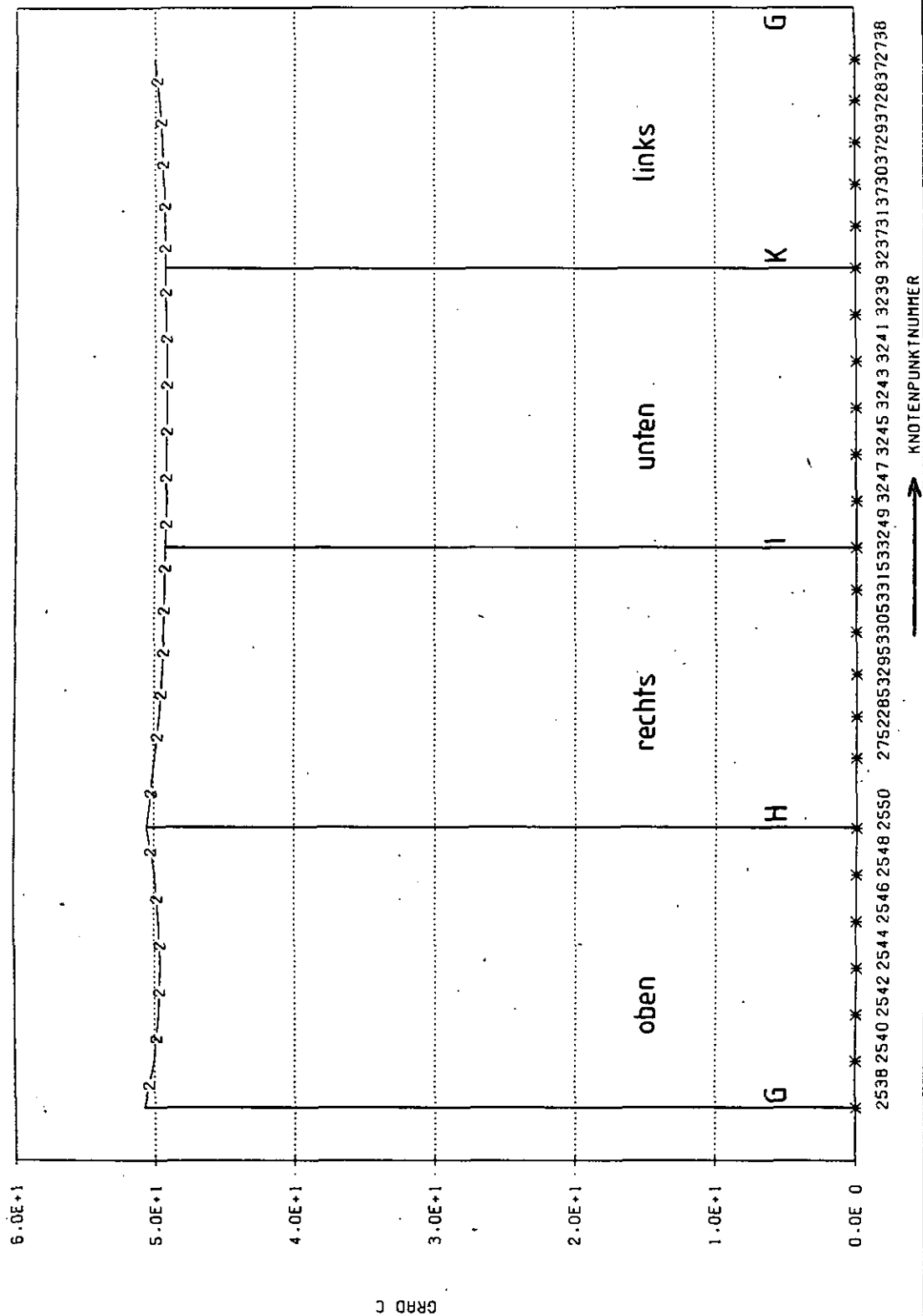
BILO NR. : 9

Abwicklung linkes Kühlrohr

R A P S

Abb. 8: Temperaturverteilung in der Wand des linken Kühlrohres der Abb. 7.

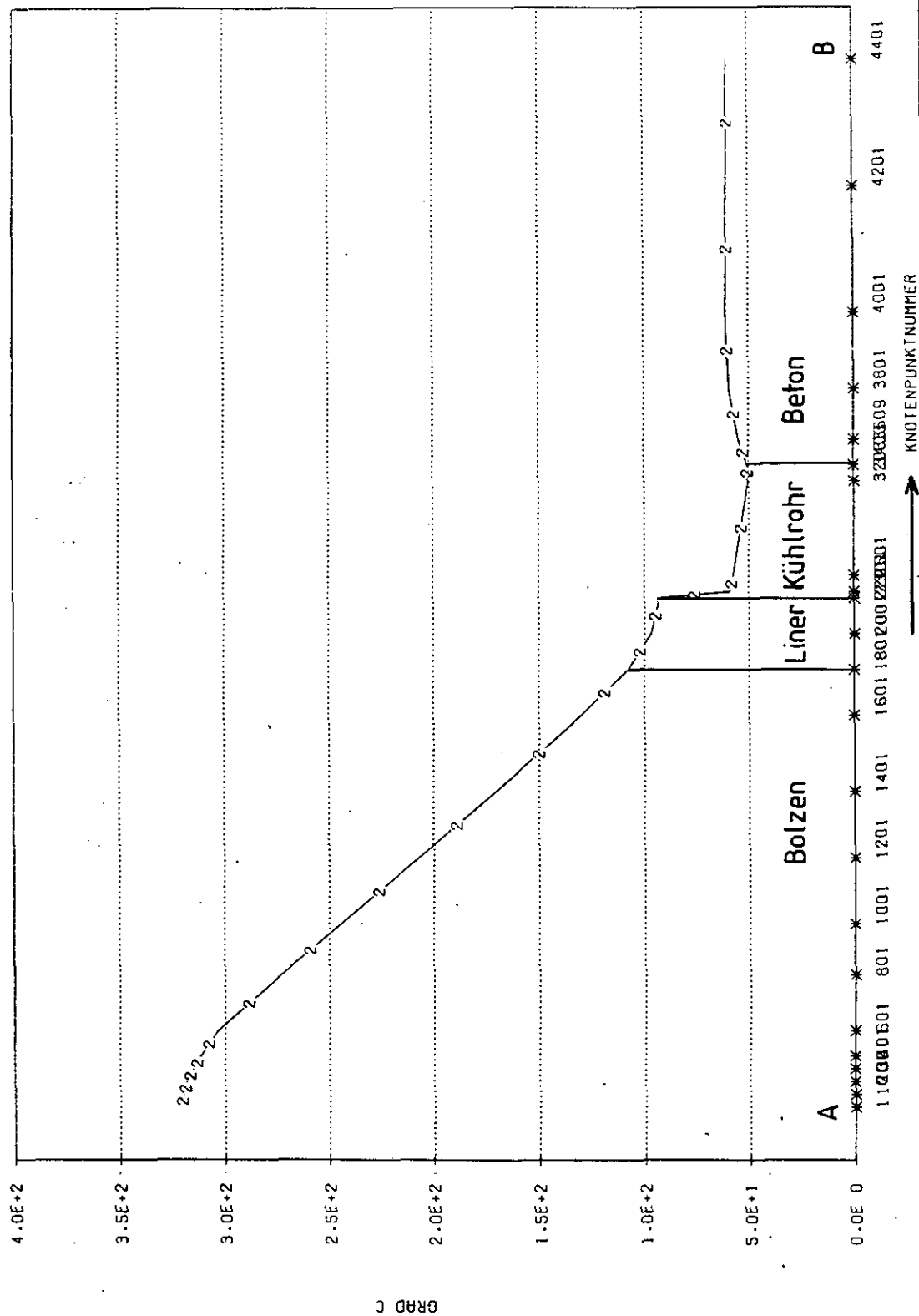
PNP: ROT.SYM. MODELL, KUEHLUNG JA JA JA, BETRIEBSTEMPERATUR



ISF-KFA JUELICH BILD NR. : 10	Abwicklung mittleres Kühlrohr	R A P S
----------------------------------	-------------------------------	---------

Abb. 9: Temperaturverteilung in der Wand des mittleren Kühlrohres der Abb. 7.

PNP: ROT.SYM. MODELL, KUEHLUNG JA JA JA, BETRIEBSTEMPERATUR



R A P S

Schnitt A-B (Achse)

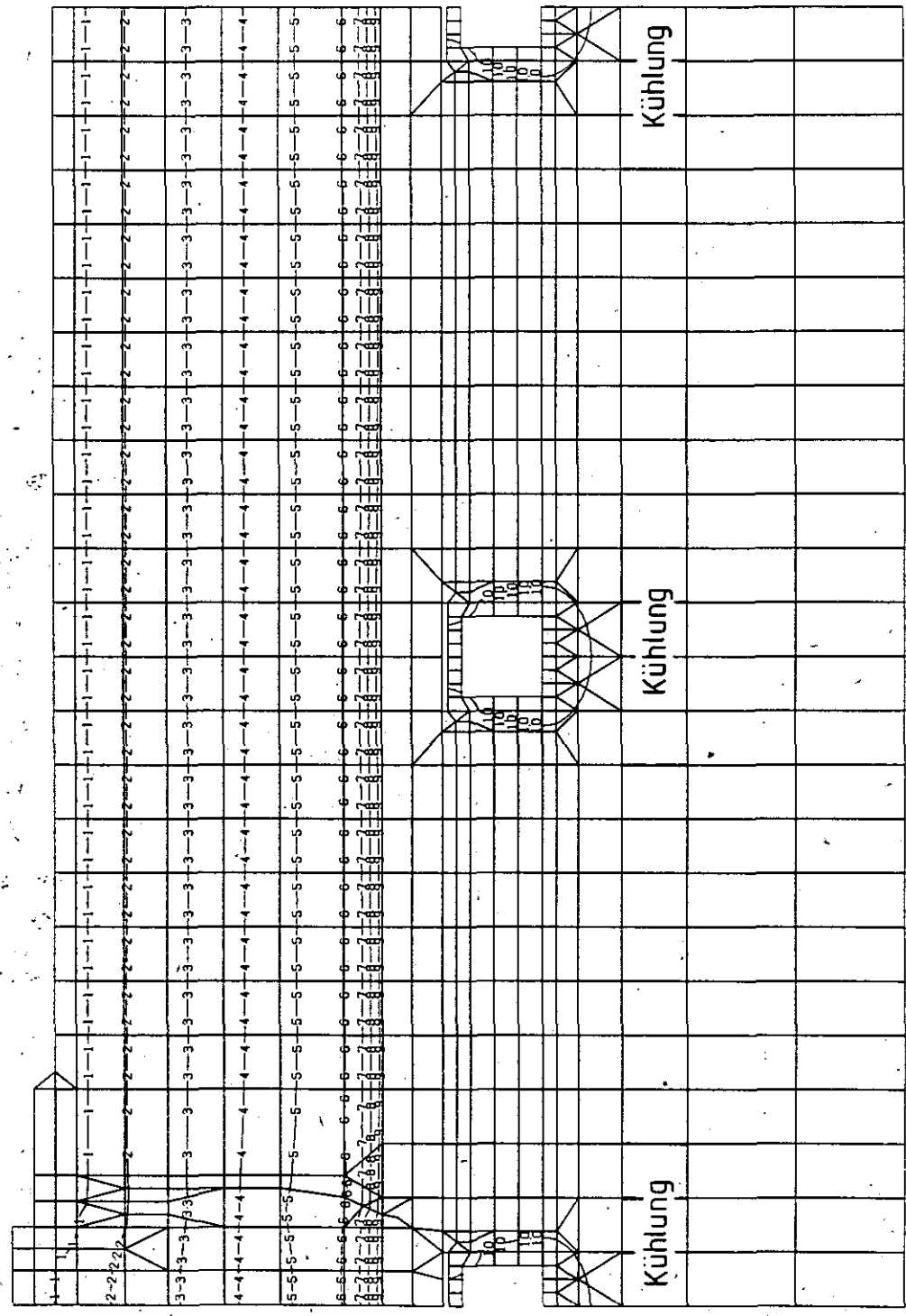
ISF-KFA JUELICH

BILD NR. : 6

Abb. 10: Temperaturverteilung in der Achse des rotationssymmetrischen Modells der Abb. 7.

PNP: MODELL AUSS. EB. KUEHLUNG J. J. J. BETR. TEMP. . . VERSCHM.

- GRAD C
- 1= 3.300E+2
 - 2= 3.000E+2
 - 3= 2.500E+2
 - 4= 2.000E+2
 - 5= 1.500E+2
 - 6= 1.000E+2
 - 7= 8.000E+1
 - 8= 7.000E+1
 - 9= 6.000E+1
 - 10= 5.000E+1



MINIMALWERT: 4.908E+1 GRAD C
 MAXIMALWERT: 3.390E+2 GRAD C

GEPLOTTETE ELEMENTGRUPPEN: 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.19

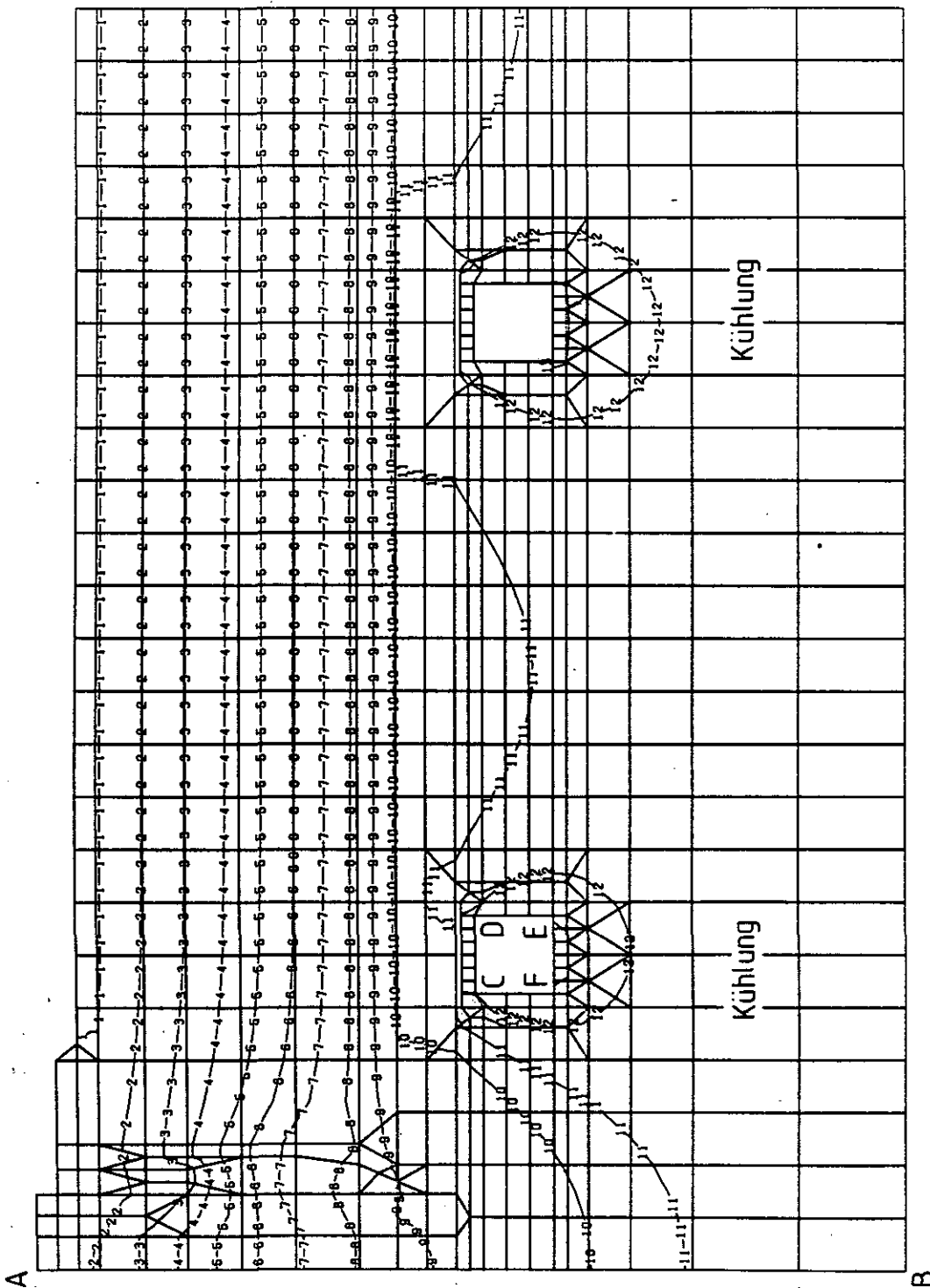
ISF-KFA JUELICH	ISOLINIEN, TEMPERATUREN, LASTFALL 3	0° KIPPW. = -90°	0°	R A P S
BILD NR. : 2				

Abb. 11: Temperaturverteilung für den Betriebszustand mit Kühlung in beiden Strängen beim ebenen Modell und Kühlrohr unter dem Haltebolzen.

PNP: ROT.SYM. MODELL. KUEHLUNG JA JA. STORFALLTEMPERATUR

GRAD C

- 1= 9.900E+2
- 2= 9.000E+2
- 3= 8.000E+2
- 4= 7.000E+2
- 5= 6.000E+2
- 6= 5.000E+2
- 7= 4.000E+2
- 8= 3.000E+2
- 9= 2.000E+2
- 10= 1.000E+2
- 11= 8.000E+1
- 12= 6.000E+1
- 13= 5.000E+1



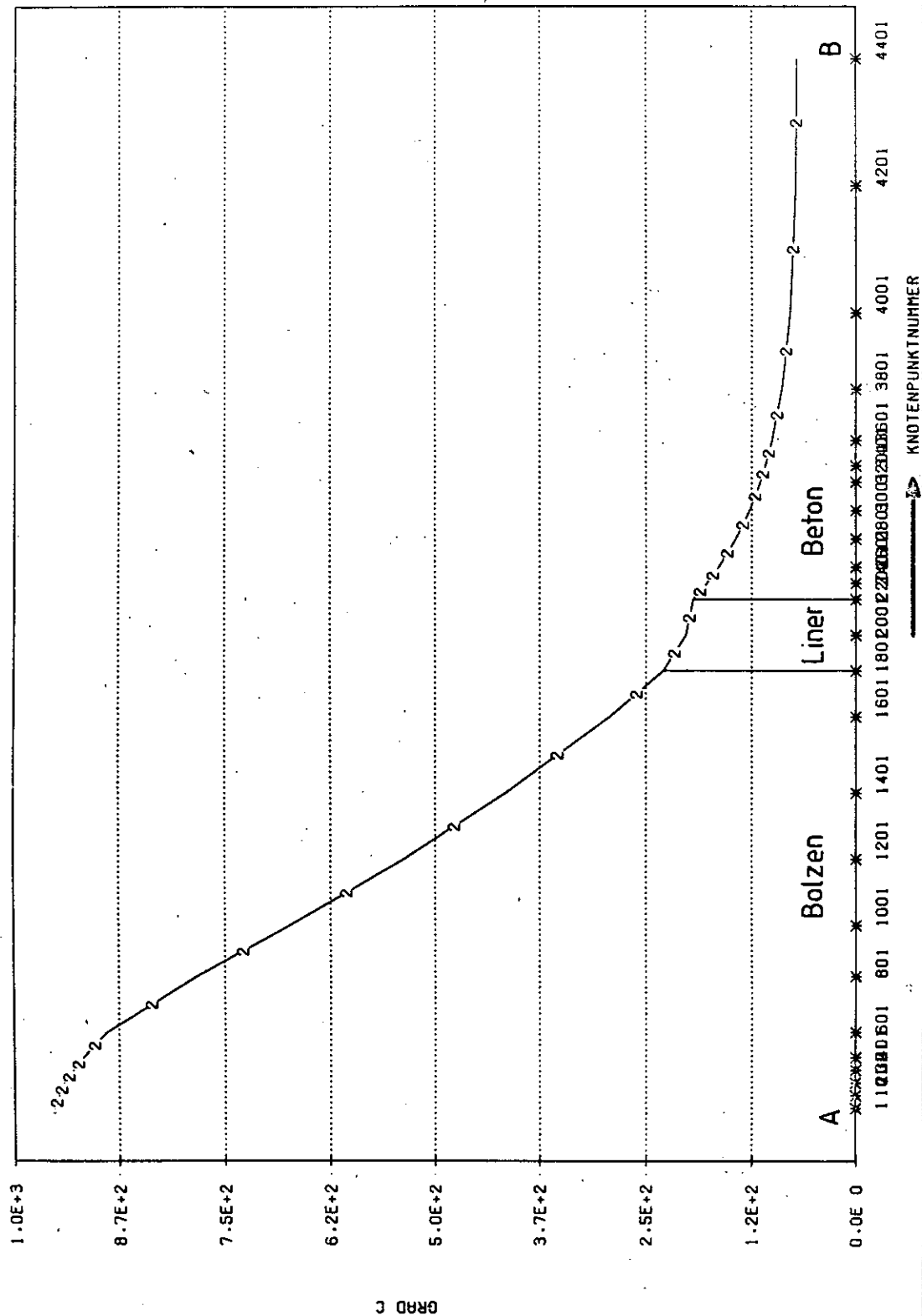
MINIMALWERT: 4.945E+1 GRAD C
MAXIMALWERT: 9.989E+2 GRAD C

GEPLOTTETER BEREICH X MIN = 0.000E 0 Y MIN = -2.063E+2 Z MIN = 0.000E 0
MAX = 3.000E+2 MAX = 0.000E 0 MAX = 0.000E 0

ISF-KFA JUELICH
BILD NR. : 2
LINIENPLOT
DREHWINKEL = 0° KIPPWINKEL = -90°
ISOLINIEN. TEMPERATUREN. LASTFALL 2
R A P S

Abb. 12: Temperaturverteilung für eine Störfalltemperatur von 1000° C mit Kühlung in beiden Strängen beim rotationssymmetrischen Modell.

PNP: ROT.SYM. MODELL. KUEHLUNG JA JA. STOERFALLTEMPERATUR



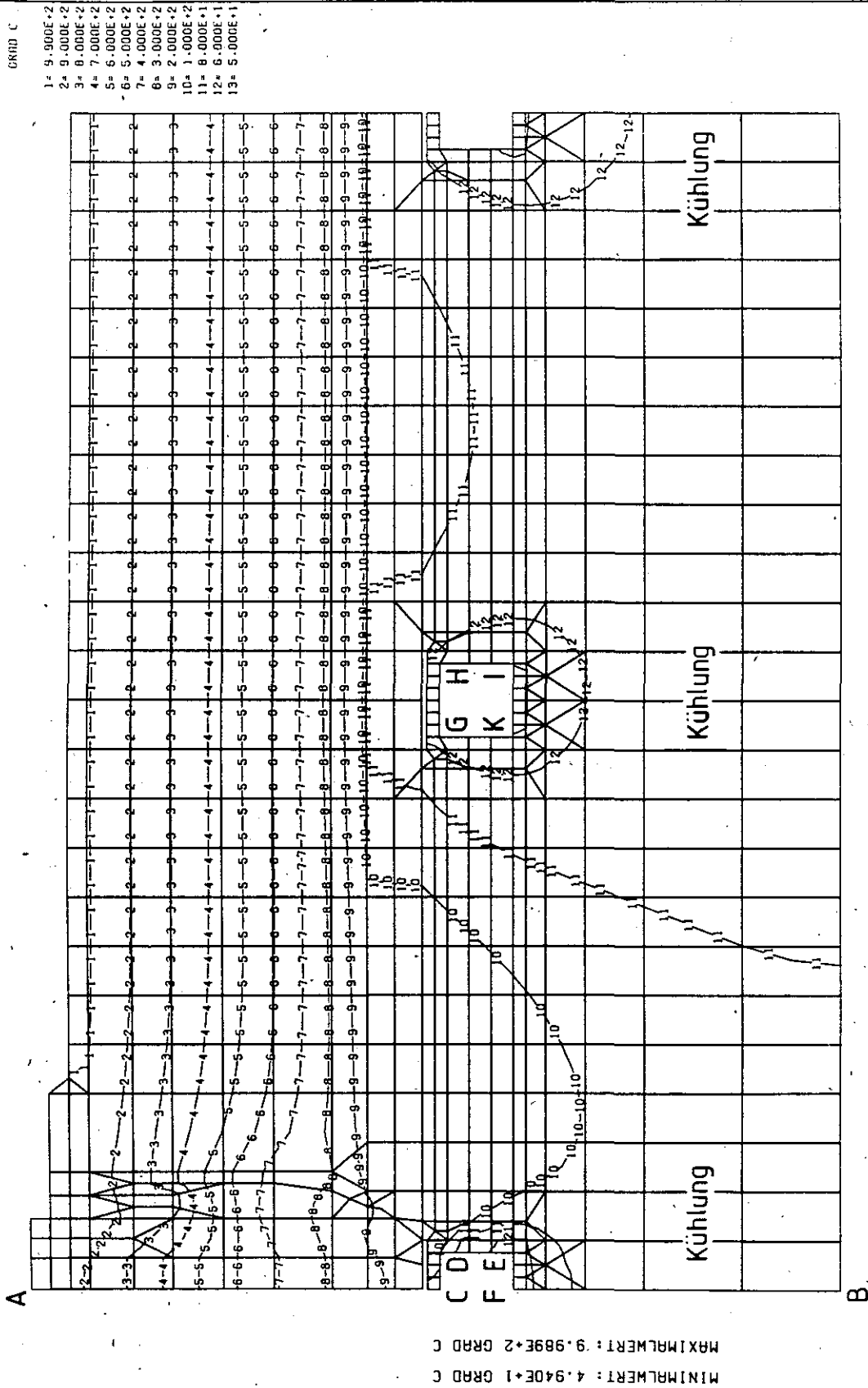
ISF-KFA JUELICH
BILD NR. : 6

Schnitt A-B (Achse)

R A P S

Abb. 14: Temperaturverteilung in der Achse des rotationssymmetrischen Modells der Abb. 12.

PNP: ROT.SYM. MODELL, KUEHLUNG JA JA JA, STORFALLTEMPERATUR



GEPLOTTETE ELEMENTGRUPPEN: 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.19

ISF-KFA JUELICH

BILD NR. : 3

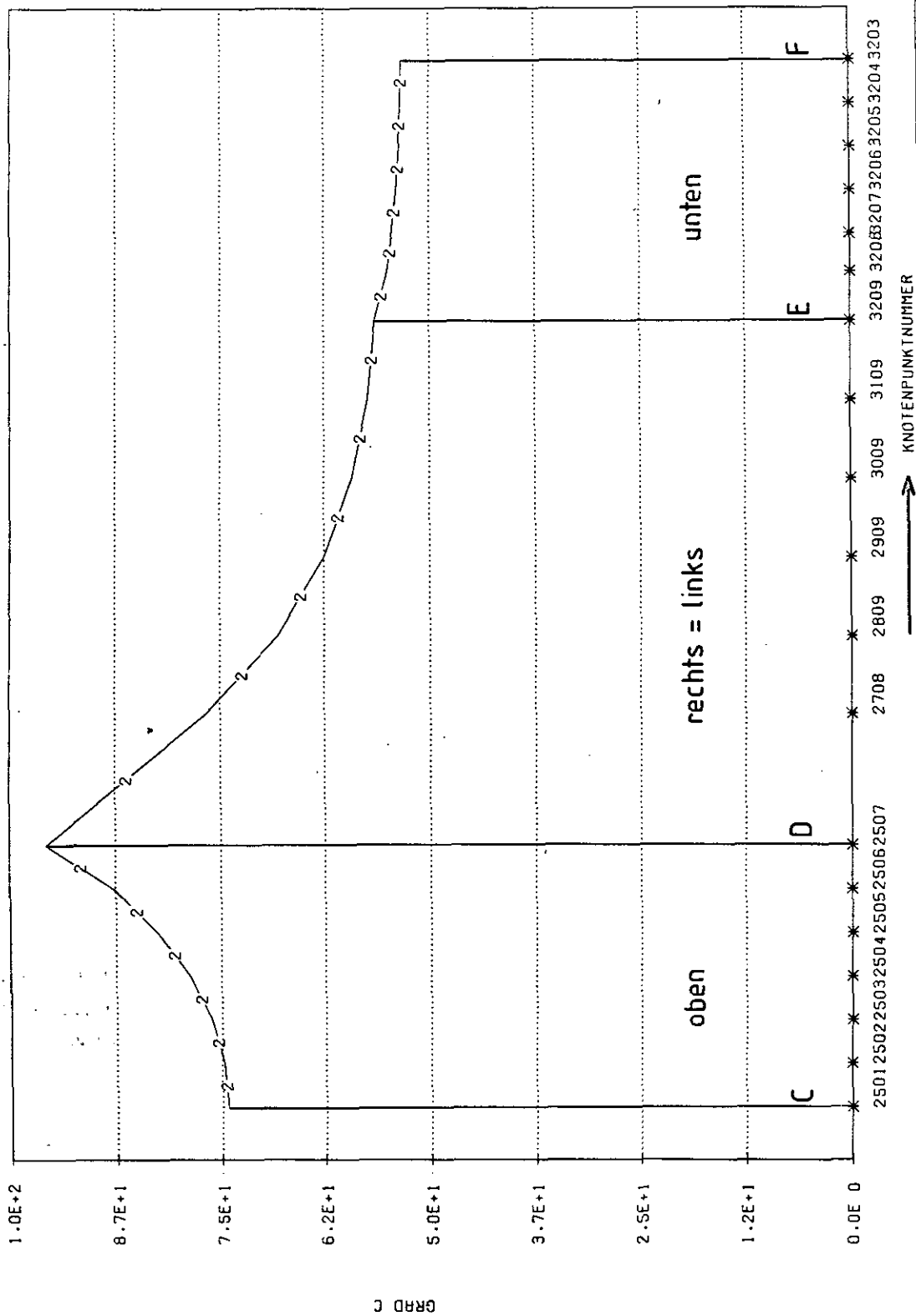
LINIENPLOT

DREHWINKEL = 0° KIPPWINKEL = -90°
ISOLINIEN, TEMPERATUREN, LASTFALL 2

R A P S

Abb. 15: Temperaturverteilung für eine Störfalltemperatur von 1000° C mit Kühlung in beiden Strängen beim rotationssymmetrischen Modell und Kühlrohr unter dem Haltebolzen.

PNP: ROT.SYM. MODELL, KUEHLUNG JA JA JA, STORFALLTEMPERATUR



ISF-KFA JUELICH

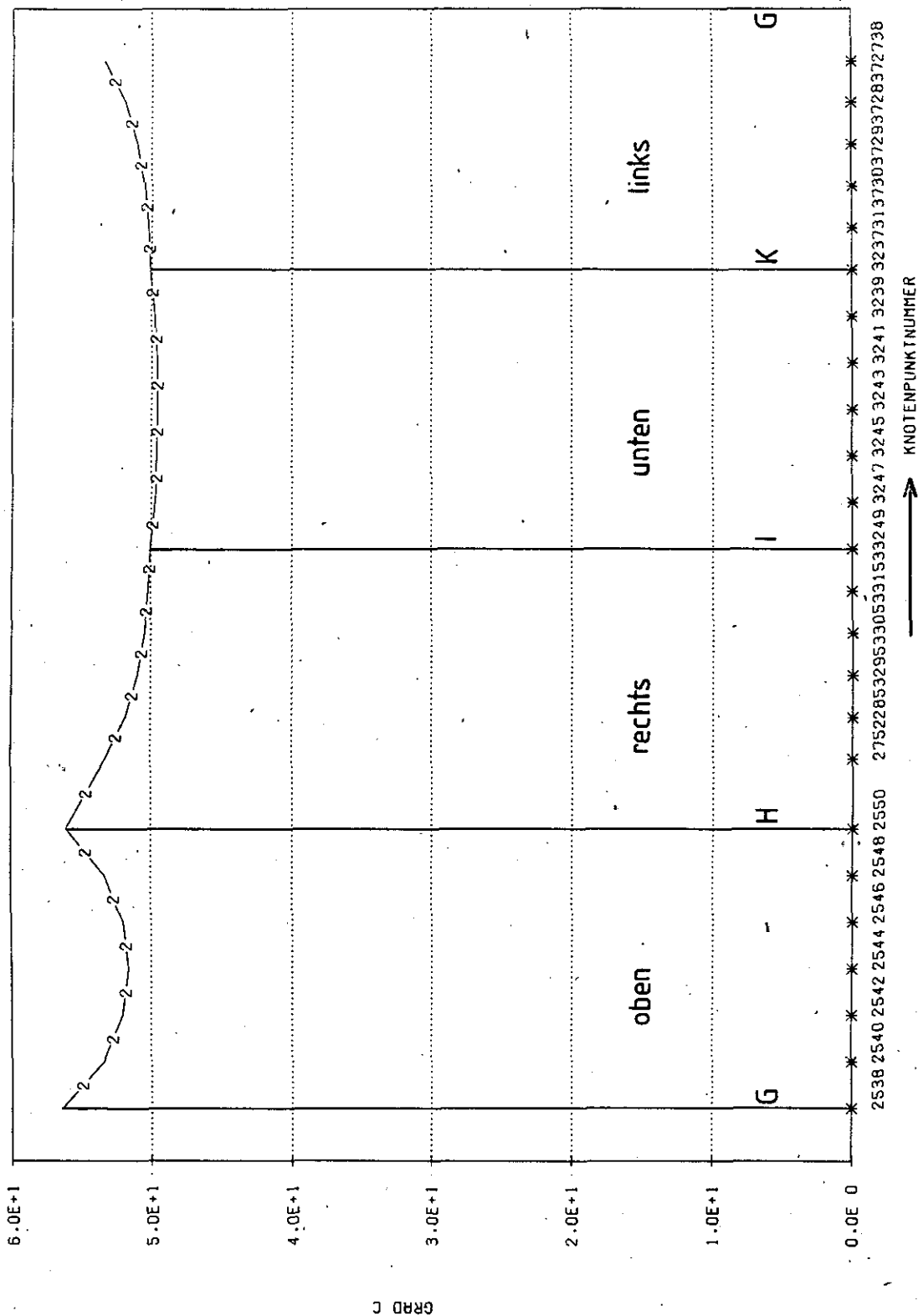
BILD NR. : 8

Abwicklung linkes Kühlrohr

R A P S

Abb. 16: Temperaturverteilung in der Wand des linken Kühlrohres der Abb. 15.

PNP: ROT.SYM. MODELL. KUEHLUNG JA JA JA, STOERFALLTEMPERATUR



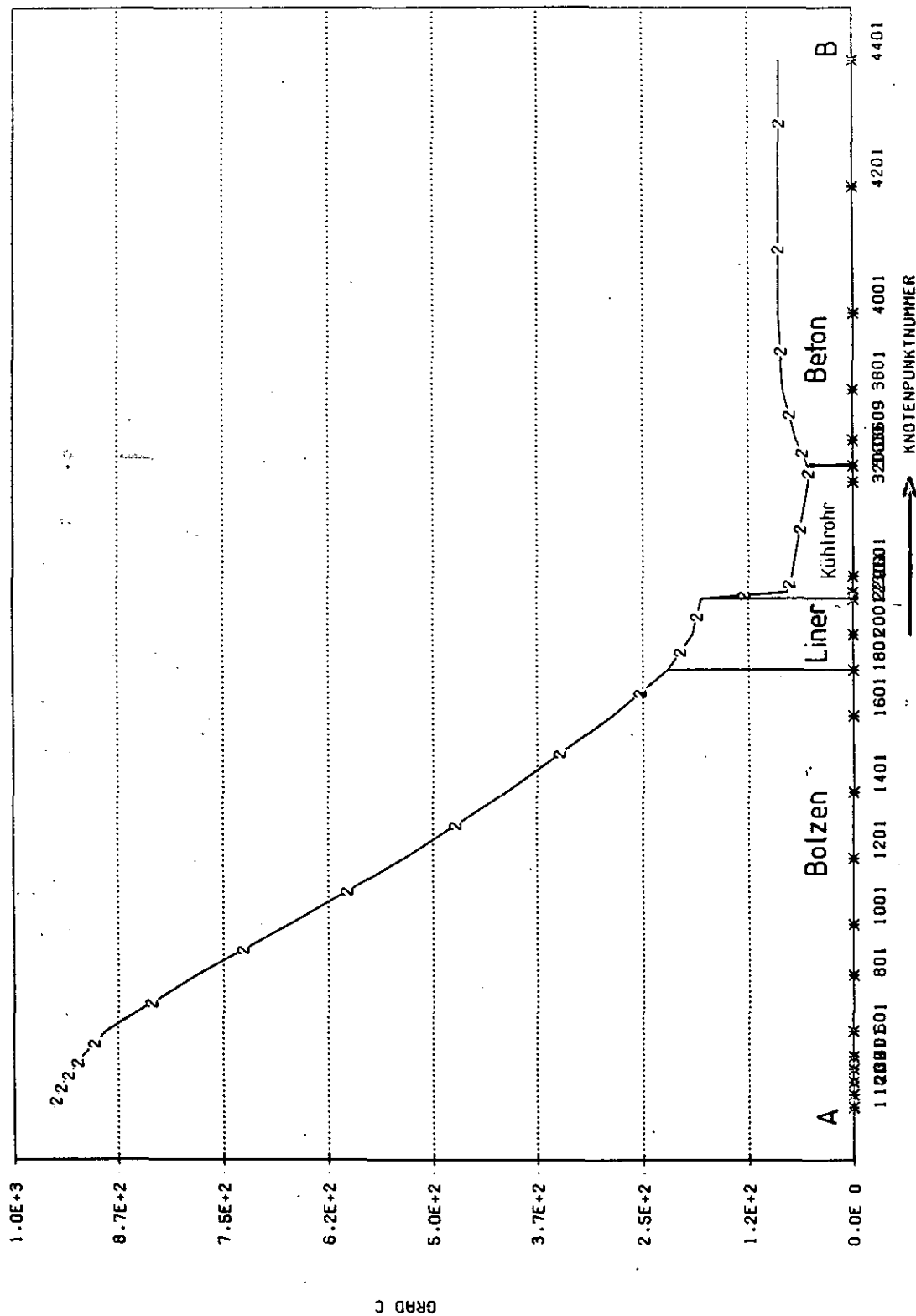
ISF-KFA JUELICH
BILD NR. 3'11

Abwicklung mittleres Kühlrohr

R A P S

Abb. 17: Temperaturverteilung in der Wand des mittleren Kühlrohres der Abb. 15.

PNP: ROT.SYM. MODELL. KUEHLUNG JA JA JA, STOEERFALLTEMPERATUR



ISF-KFA JUELICH
BILD NR. : 7

Schnitt A-B (Achse)

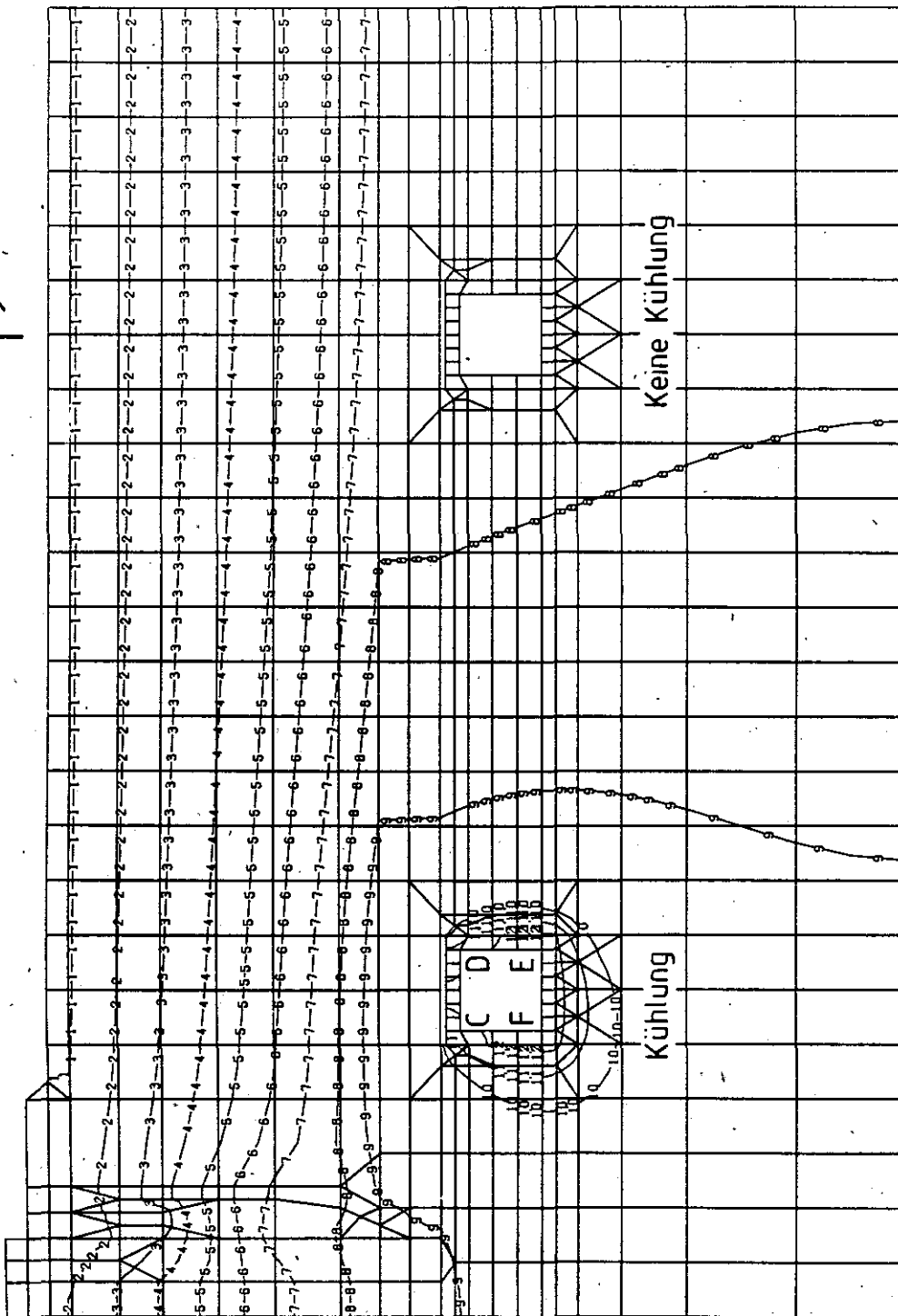
R A P S

Abb. 18: Temperaturverteilung in der Achse des rotationssymmetrischen Modells der Abb. 15.

PNP: ROT.SYM. MODELL, KUEHLUNG JA NEIN, STORFALLTEMPERATUR



A



MINIMALWERT: 5.130E+1 GRAD C
MAXIMALWERT: 1.000E+3 GRAD C



B

GEPLOTTETE ELEMENTGRUPPEN: 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.19

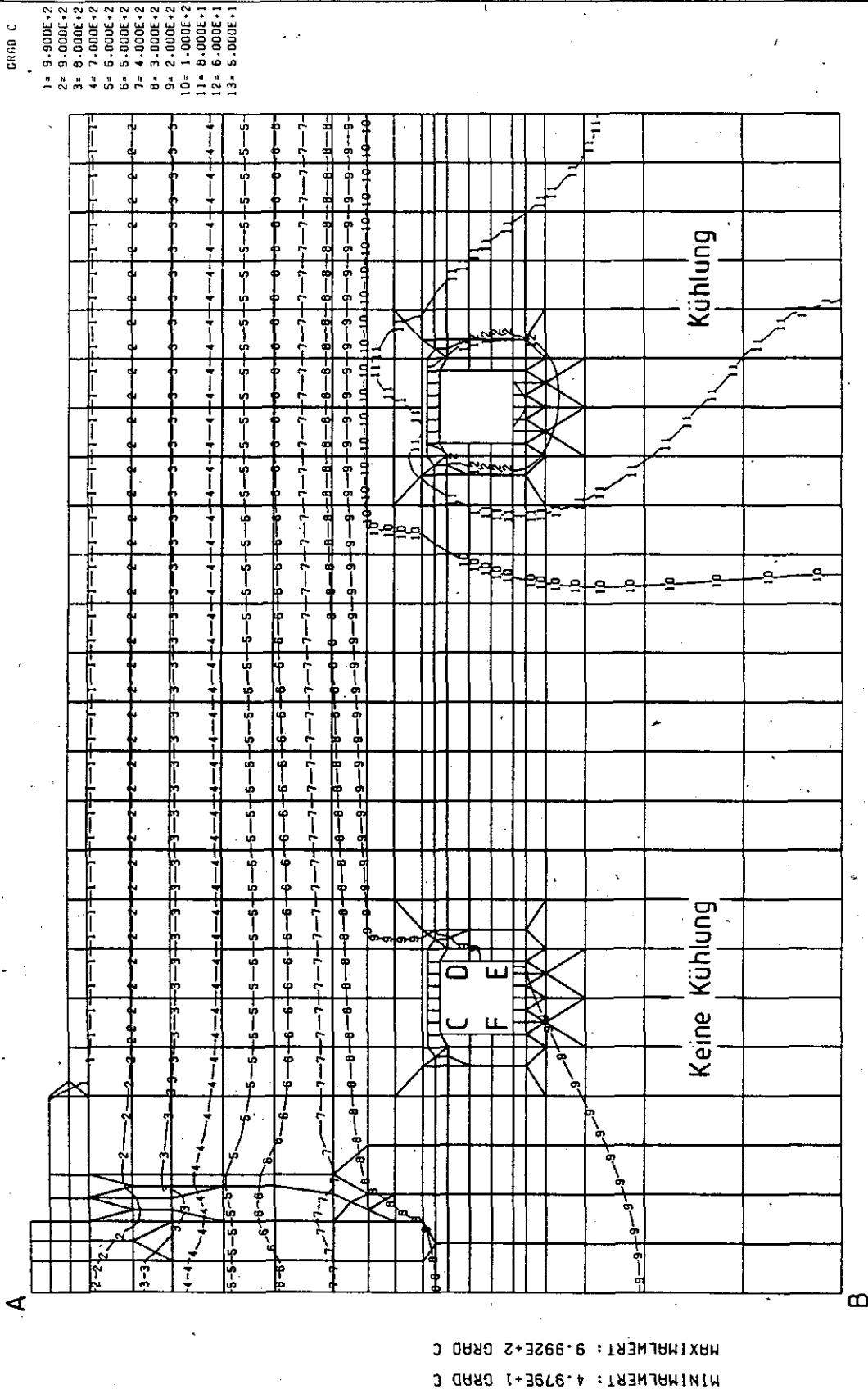
ISF-KFA JUELICH
BILD NR. : 3

DREHWINKEL = 0° KIPPWINKEL = -90°
ISOLINIEN, TEMPERATUREN, LASTFALL I

R A P S

Abb. 19: Temperaturverteilung für eine Störfalltemperatur von 1000° C mit Kühlung nur im linken Strang beim rotationssymmetrischen Modell.

PNP: ROT.SYM. MODELL. KUEHLUNG NEIN JA, STORFALLTEMPERATUR



GEPLOTTETE ELEMENTGRUPPEN: 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.19

ISF-KFA JUELICH

BILD NR. : 1

LINIENPLOT
DREHWINKEL = 0° KIPPWINKEL = -90°
ISOLINIEN, TEMPERATUREN, LASTFALL 4

R A P S

Abb. 21: Temperaturverteilung für eine Störfalltemperatur von 1000° C mit Kühlung nur im rechten Strang beim rotationssymmetrischen Modell.

[illegible]

ISF-KFA JUELICH

BILD NR. : 1

Abwicklung linkes Kühlrohr

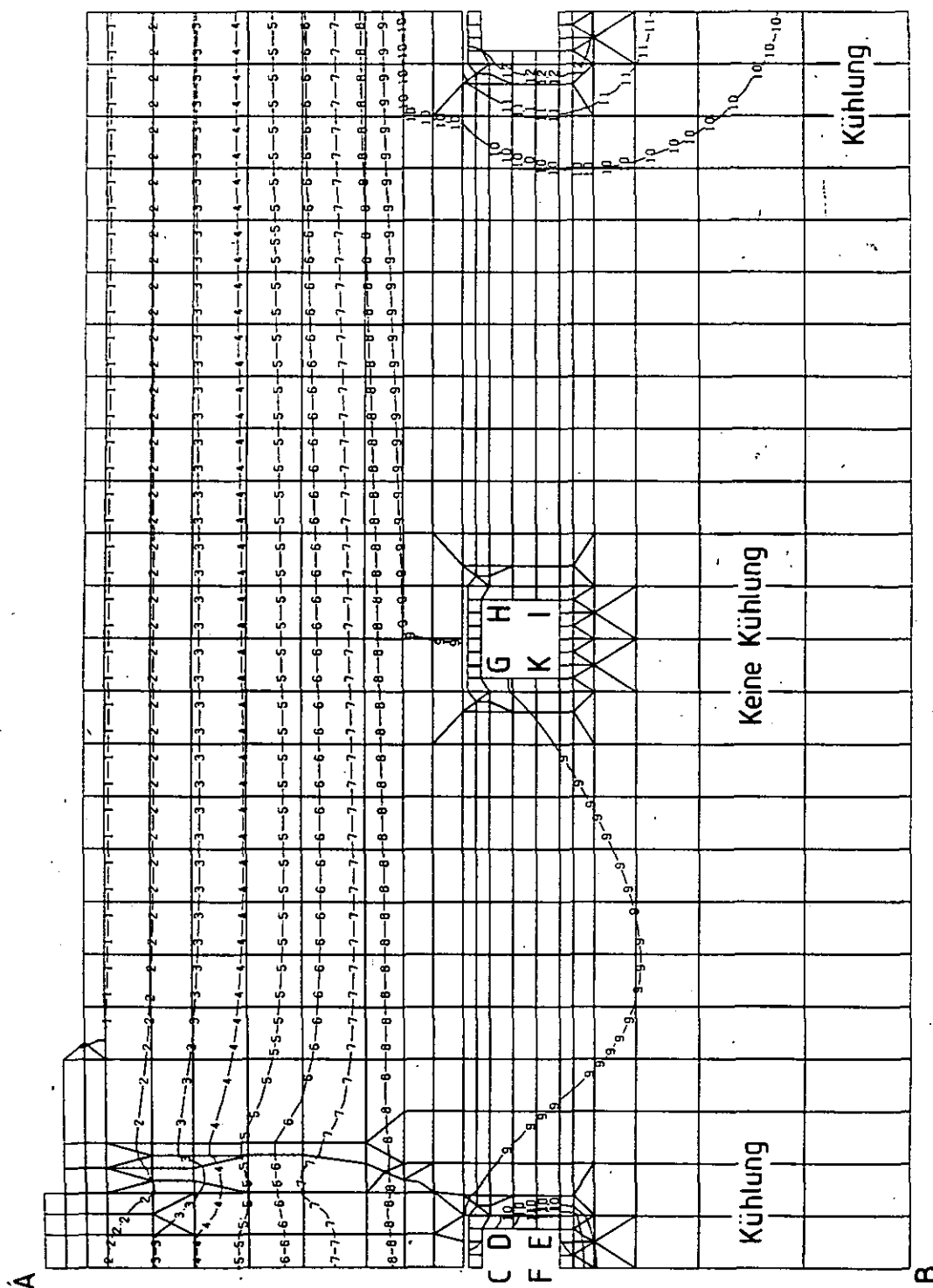
S
A
R

Abb. 22: Temperaturverteilung in der Wand des linken Kühlrohres der Abb. 21.

PNP: ROT.SYM. MOD.. KUEHLUNG JA.NEIN JA. STORFALLTEMPERATUR

ORND C

- 1= 9.500E+2
- 2= 9.000E+2
- 3= 8.000E+2
- 4= 7.000E+2
- 5= 6.000E+2
- 6= 5.000E+2
- 7= 4.000E+2
- 8= 3.000E+2
- 9= 2.000E+2
- 10= 1.000E+2
- 11= 8.000E+1
- 12= 6.000E+1
- 13= 5.000E+1



MINIMALWERT: 5.012E+1 GRAD C
MAXIMALWERT: 9.994E+2 GRAD C

GEPLOTTETE ELEMENTGRUPPEN: 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.19

ISF-KFA JUELICH
BILD NR. : 2

ORCHWINKEL = 0° KIPPWINKEL = -90°
ISOLINIEN. TEMPERATUREN. LASTFALL I

R A P S

Abb. 23: Temperaturverteilung für eine Störfalltemperatur von 1000° C mit Kühlung, nur in einem Strang beim rotationssymmetrischen Modell und Kühlrohr unter dem Haltebolzen.

PNP: ROT-SYM. MODELL. KUEHLUNG N J N. STORFALLTEMPERATUR

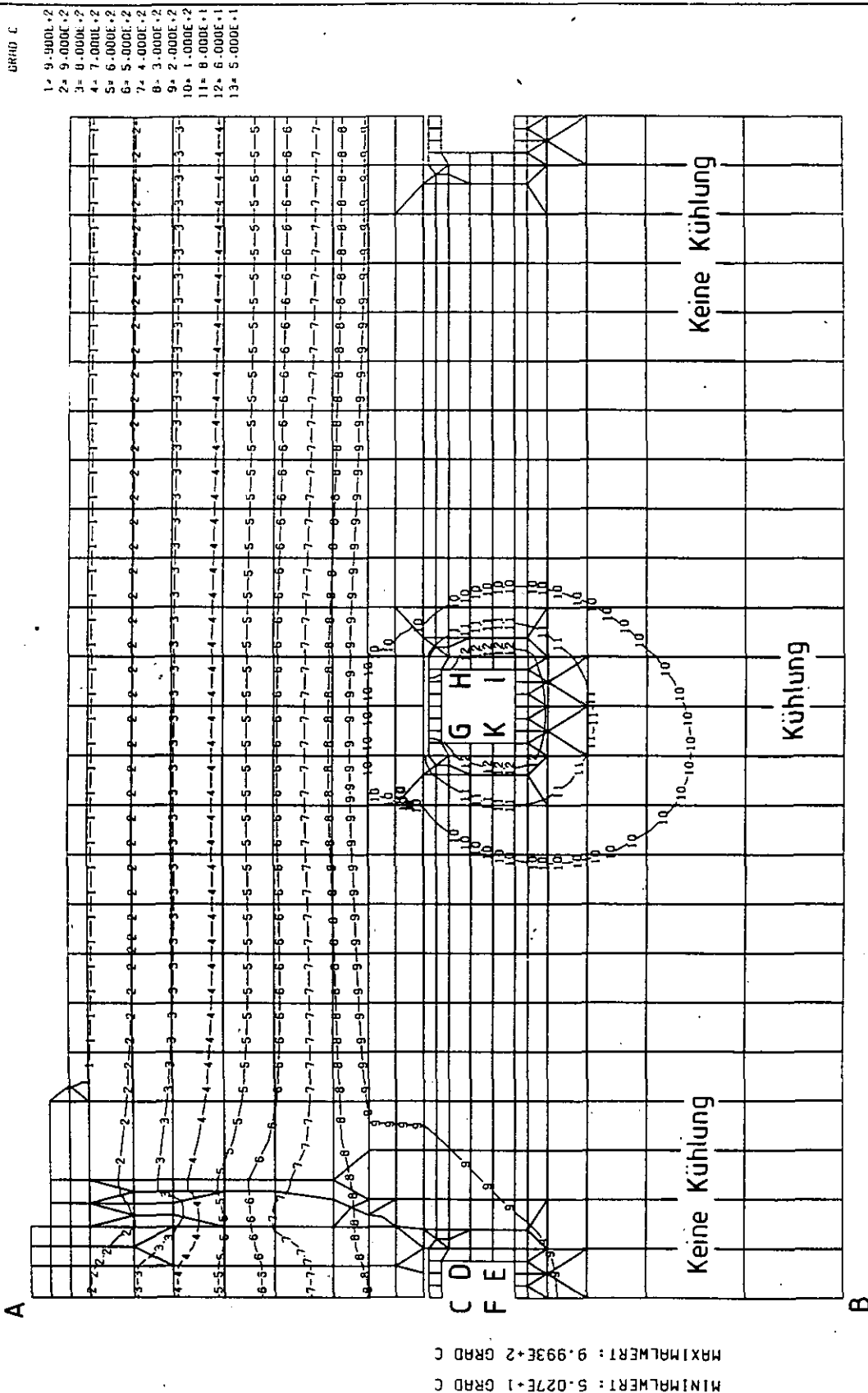
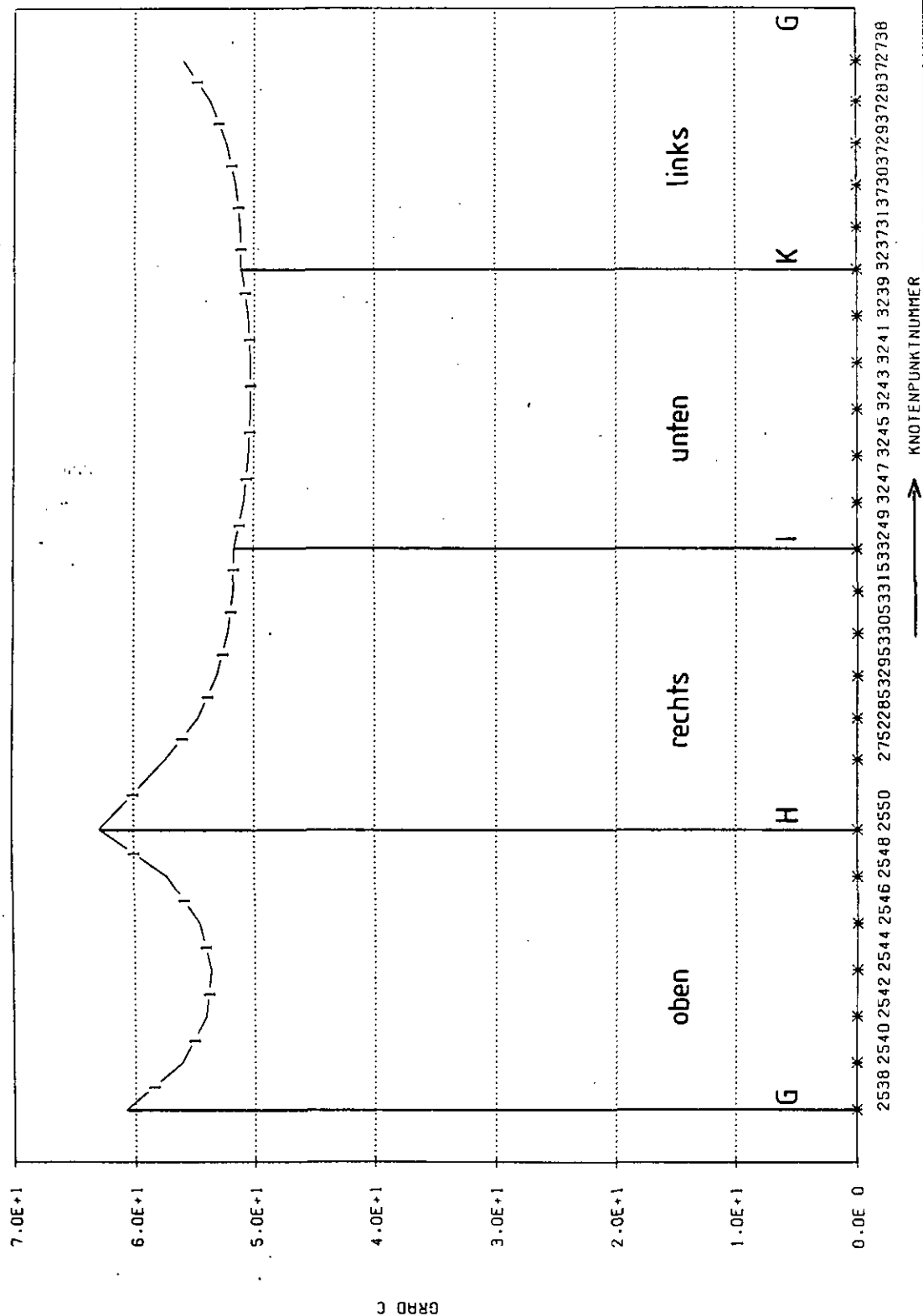


Abb. 25: Temperaturverteilung für eine Störfalltemperatur von 1000° C mit Kühlung nur in einem Strang beim rotationssymmetrischen Modell und Kühlrohr unter dem Haltebolzen.

PNP: ROT.SYM. MODELL, KUEHLUNG N J N, STORFALLTEMPERATUR



ISF-KFA JUELICH
BILD NR. : 6

Abwicklung mittleres Kühlrohr

R A P S

Abb. 26: Temperaturverteilung in der Wand des mittleren Kühlrohres der Abb. 25.

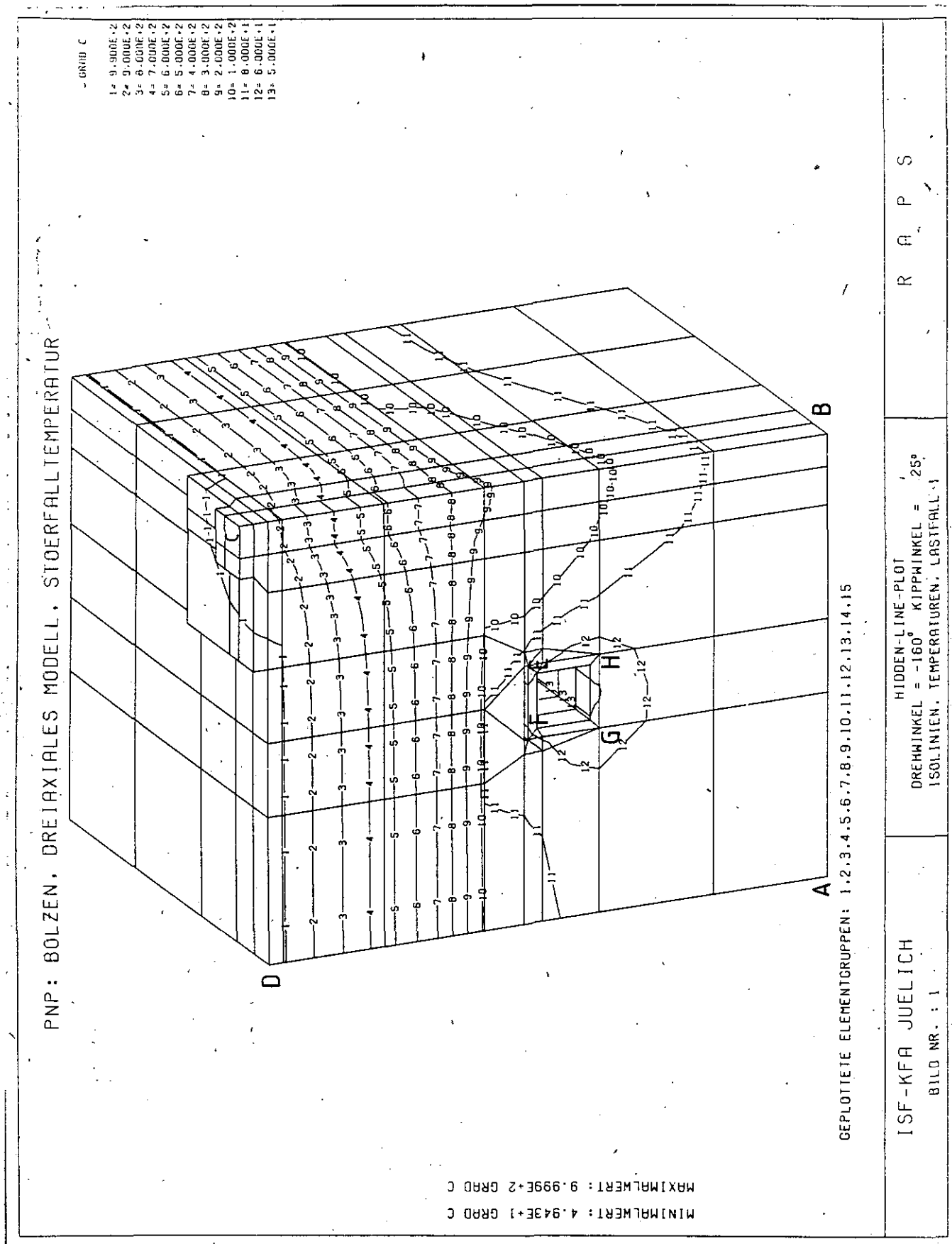
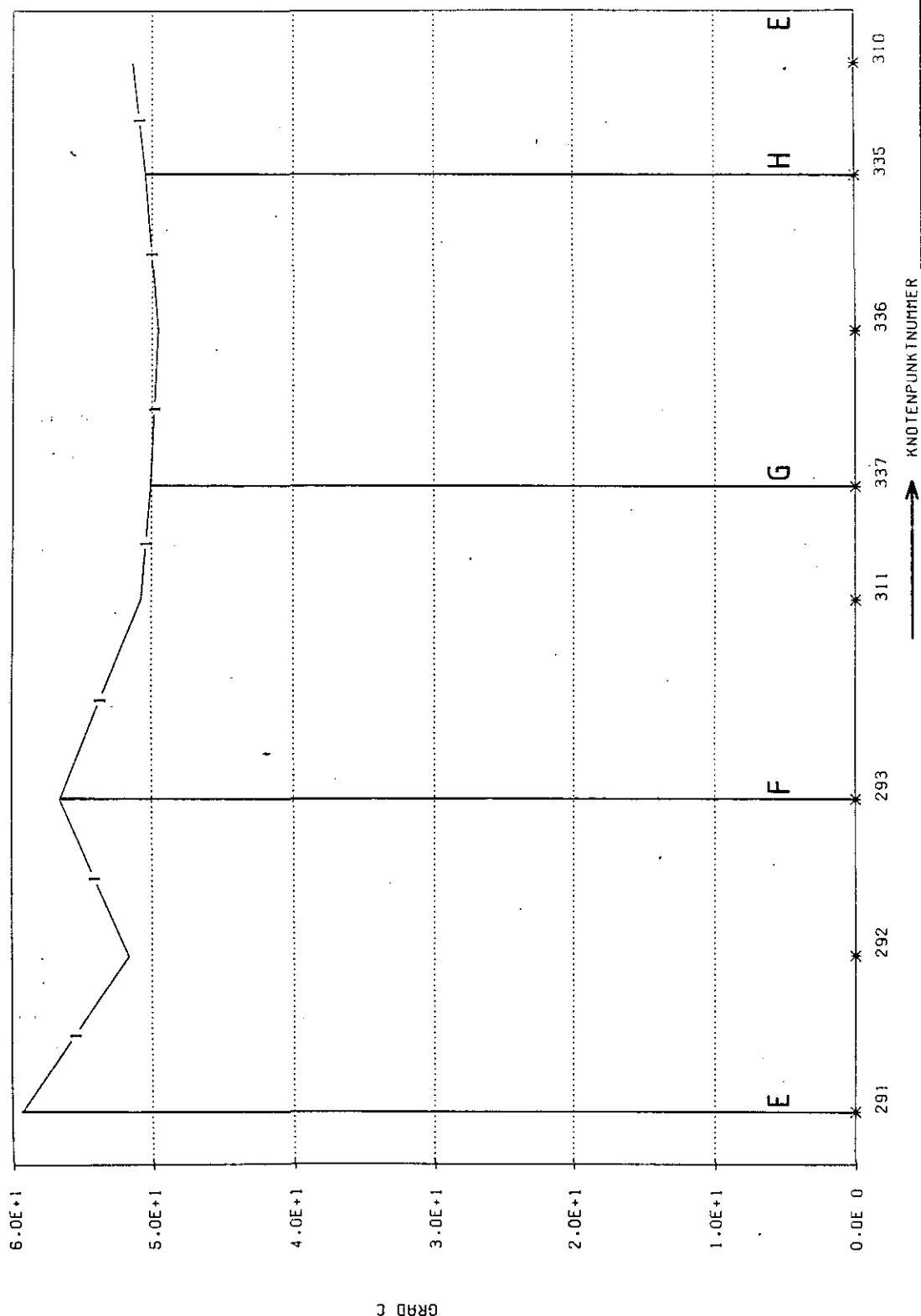


Abb. 27: Temperaturverteilung für eine Störfalltemperatur von 1000° C beim drei-axialen Modell.

PNP: BOLZEN, DREIAXIALES MODELL, STÖRFAHLLTEMPERATUR

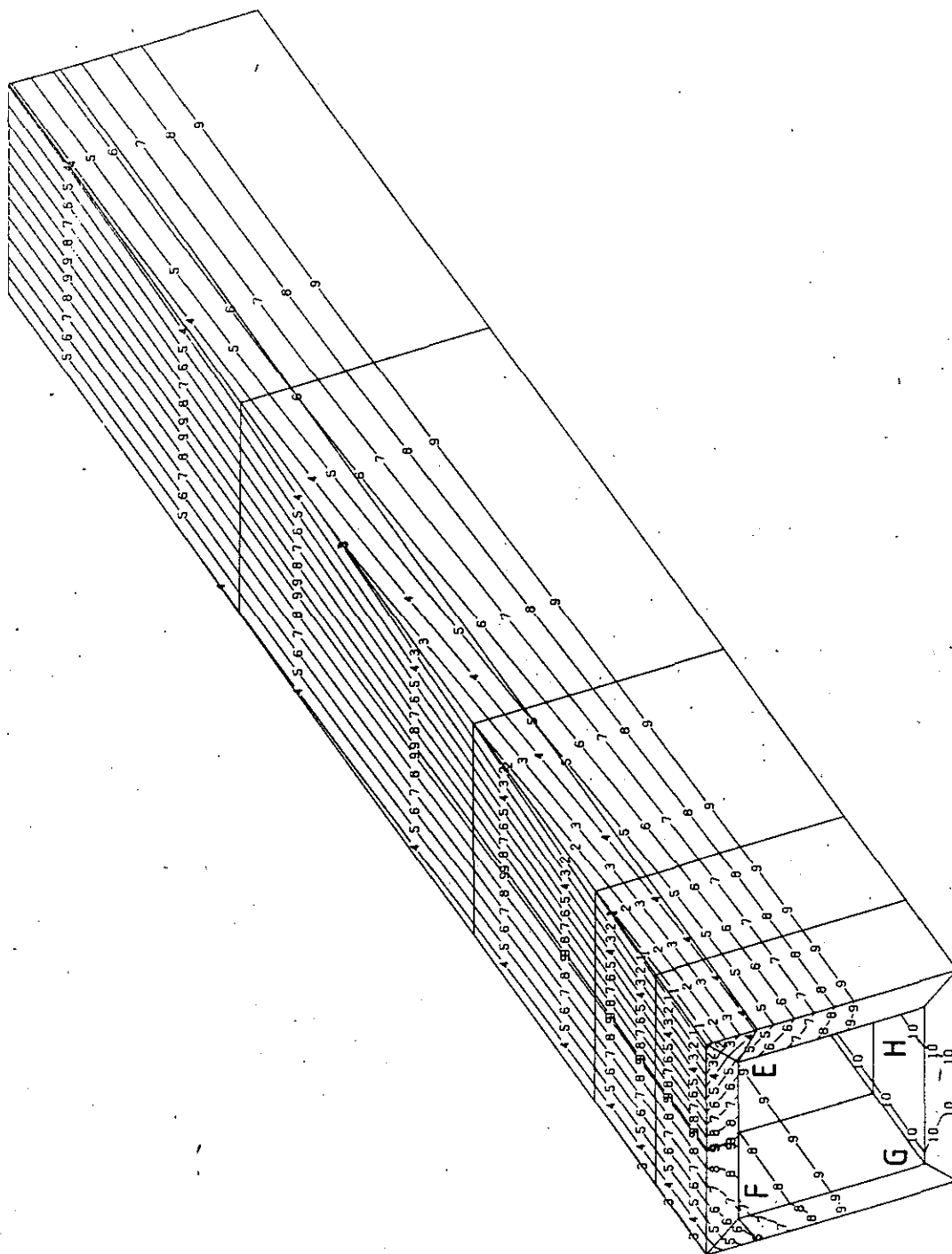


ISF-KFA JUELICH	Abwicklung Kühlrohr	R A P S
BILD NR. : 3		

Abb. 28: Temperaturverteilung in der Wand des Kühlrohres der Abb. 27.

PNP: BOLZEN. DREIAXIALES MODELL. STÖRFAHLLTEMPERATUR

- GRAD C
- 1= 6.800E
 - 2= 6.600E
 - 3= 6.400E
 - 4= 6.200E
 - 5= 6.000E
 - 6= 5.800E
 - 7= 5.600E
 - 8= 5.400E
 - 9= 5.200E
 - 10= 5.000E



MINIMALWERT: 4.943E+1 GRAD C
MAXIMALWERT: 6.891E+1 GRAD C

ISF-KFA JUELICH

BILD NR. : 2

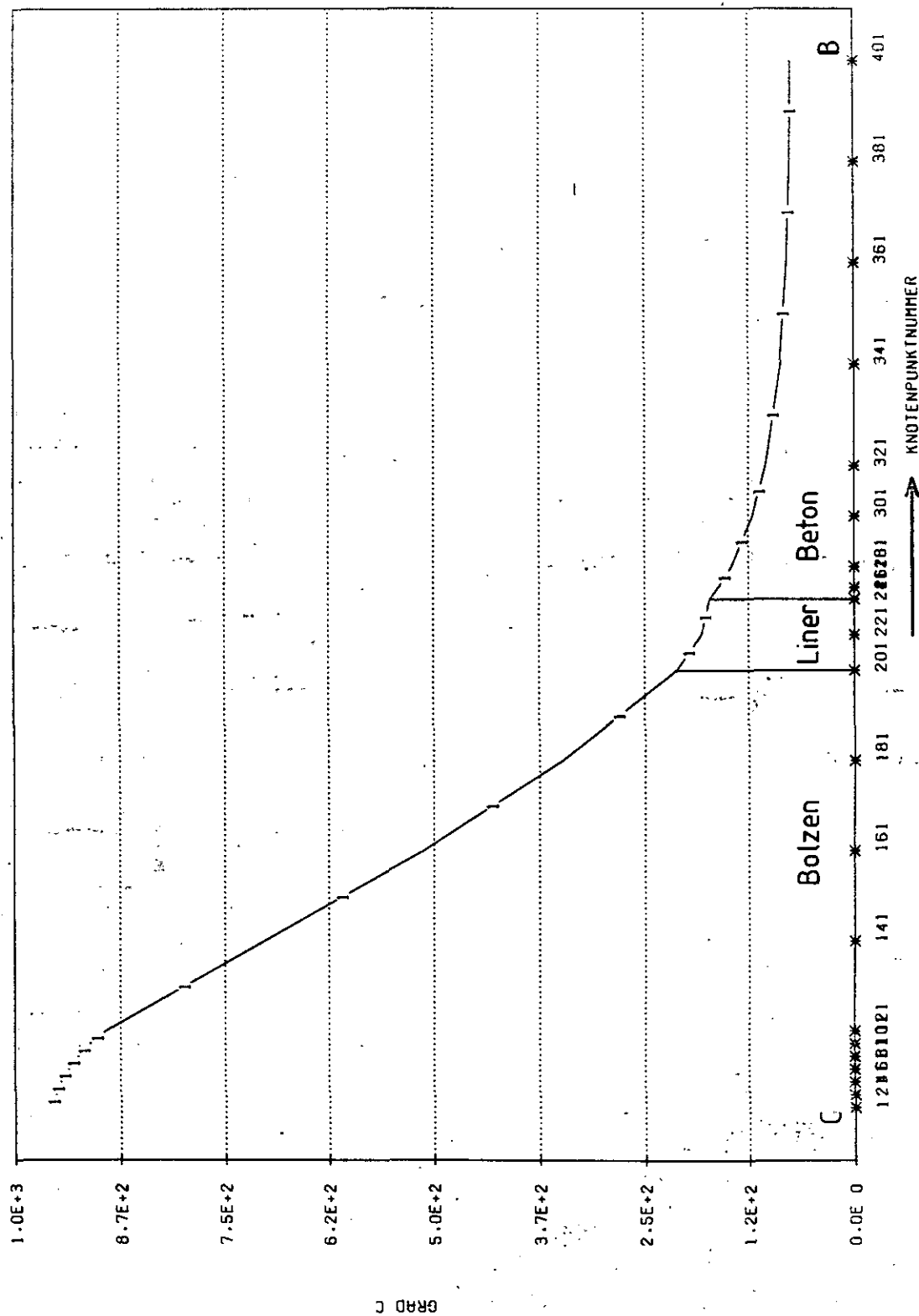
HIDDEN-LINE-PLOT

DREHWINKEL = -140° KIPPWINKEL = 25°
ISOLINIEN. TEMPERATUREN. LASTFALL

R A P S

Abb. 29: Temperaturverteilung über das Kühlrohr bei Abb. 27.

PNP: BOLZEN, DREIAXIALES MODELL, STÖRFALLTEMPERATUR



R A P S

Schnitt C-B (Achse)

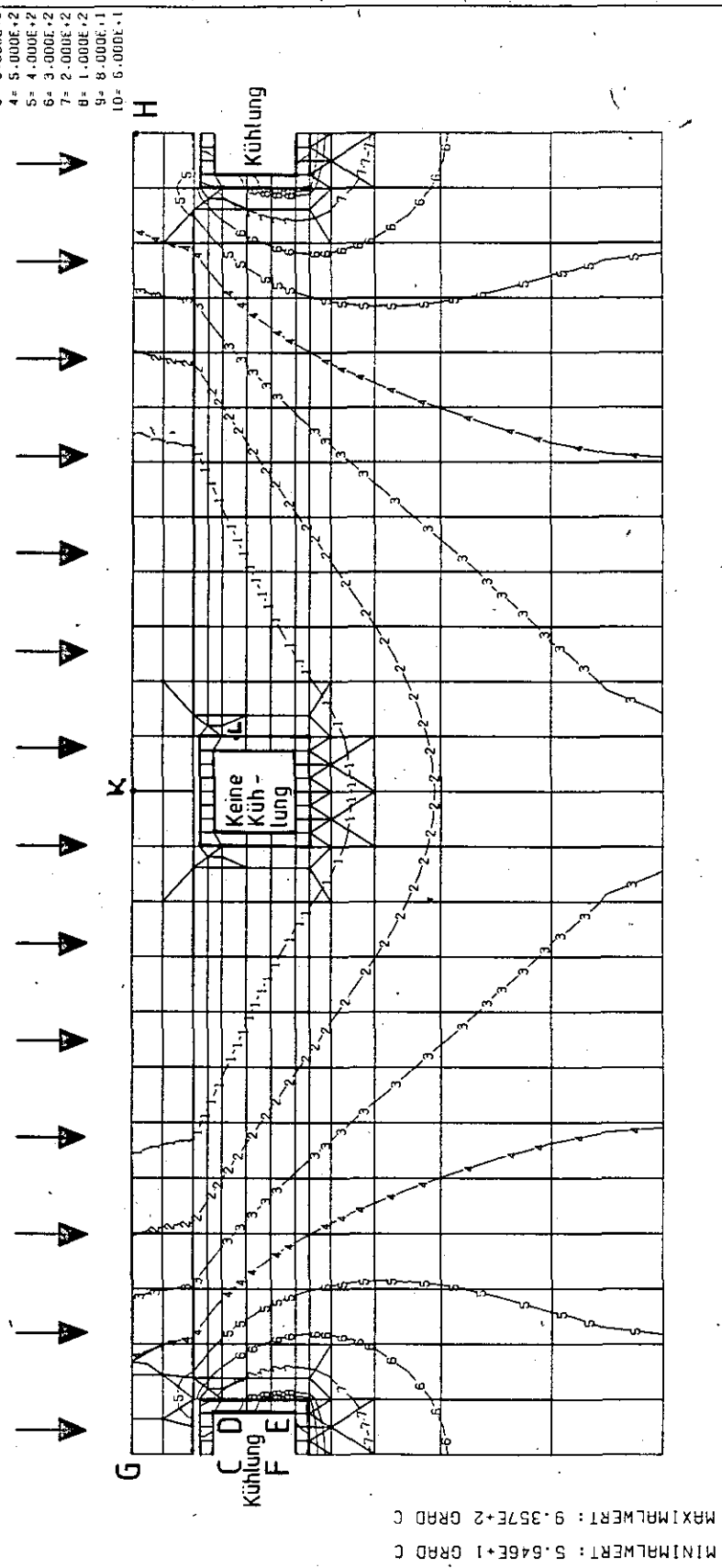
ISF-KFA JUELICH

BILD NR. : 2

Abb. 30: Temperaturverteilung in der Achse des dreiaxialen Modells der Abb. 27.

PNP-500, OHNE ISOLIERUNG, T= 1005 GRAD, ZEIT= 5.7 H

Strahlung vom Thermischen Schild

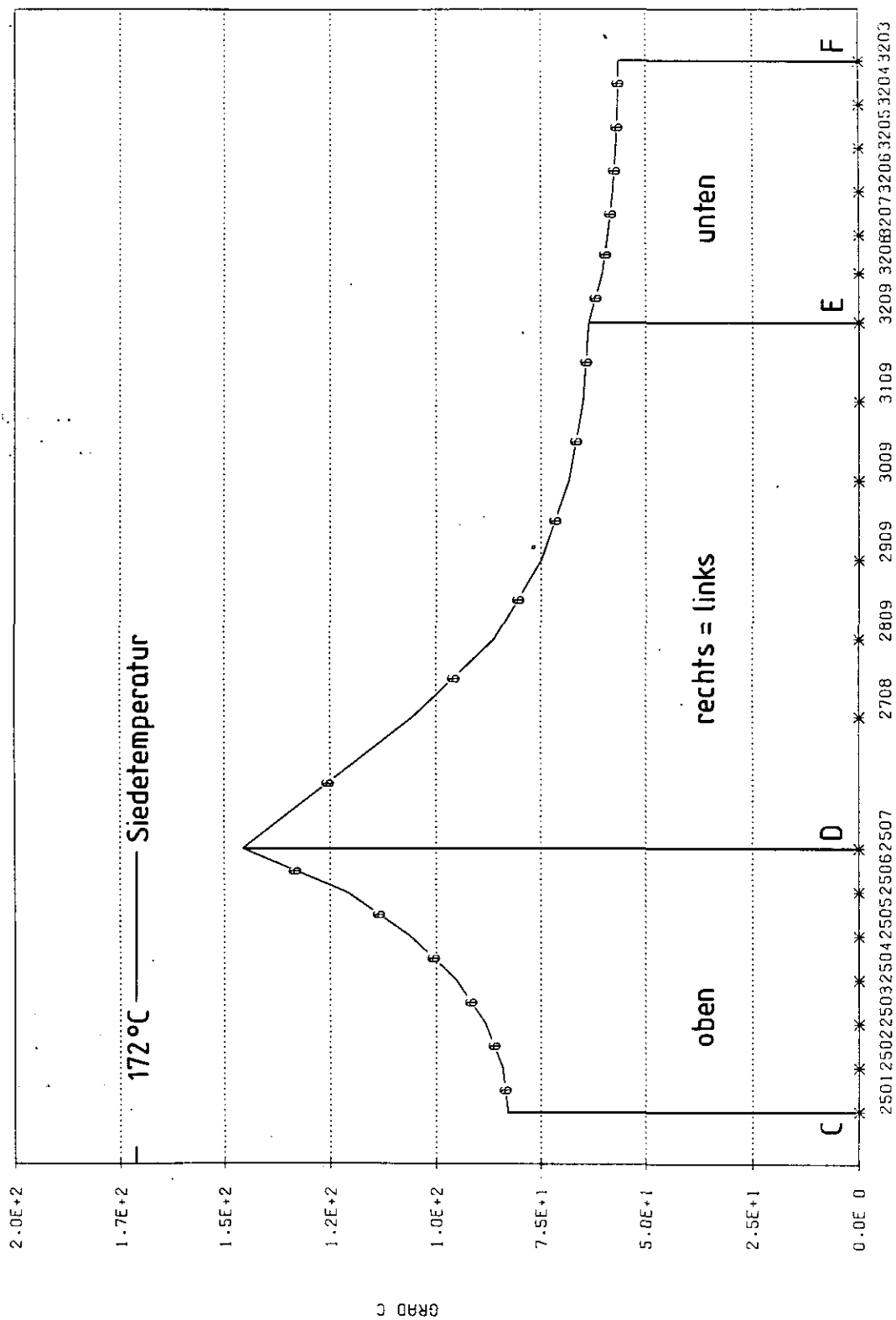


GEPLOTTETE ELEMENTGRUPPEN: 8.9.10.11.12.13.14.15.16.19

ISF-KFA JUELICH BILD NR. : 2	DREHW. = 0° KIPPW. = -90° ISOLINIEN. TEMPERATUREN. LASTFALL 6	R A P S
---------------------------------	--	---------

Abb. 31: Temperaturverteilung für eine Störfalltemperatur von 1000° C mit Kühlung nur in einem Strang beim ebenen Modell ohne Isolierung.

PNP-500, OHNE ISOLIERUNG, T= 1005 GRAD, ZEIT= 5.2 H U. 5.7 H



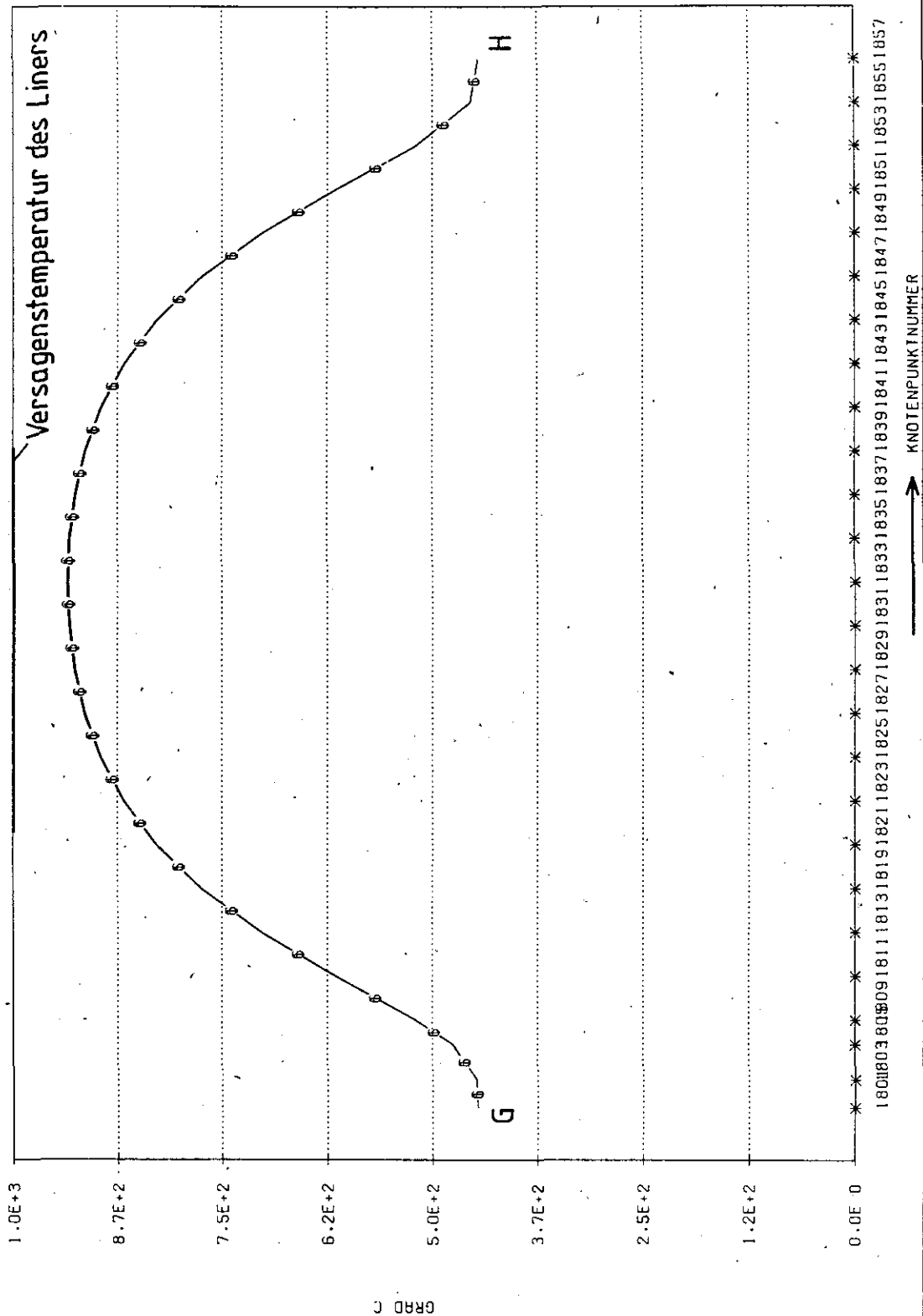
ISF-KFA JUELICH

BILD NR. : 4

R A P S

Abb. 32: Temperaturverteilung in der Wand des linken Kühlrohres der Abb. 31.

PNP-500, OHNE ISOLIERUNG, T= 1005 GRAD, ZEIT= 5.2 H U. 5.7 H



ISF-KFA JUELICH BILD NR. : 3	Liner temperatur Schnitt G-H	R A P S
---------------------------------	---------------------------------	---------

Abb. 33: Temperaturverteilung über den Liner der Abb. 31..

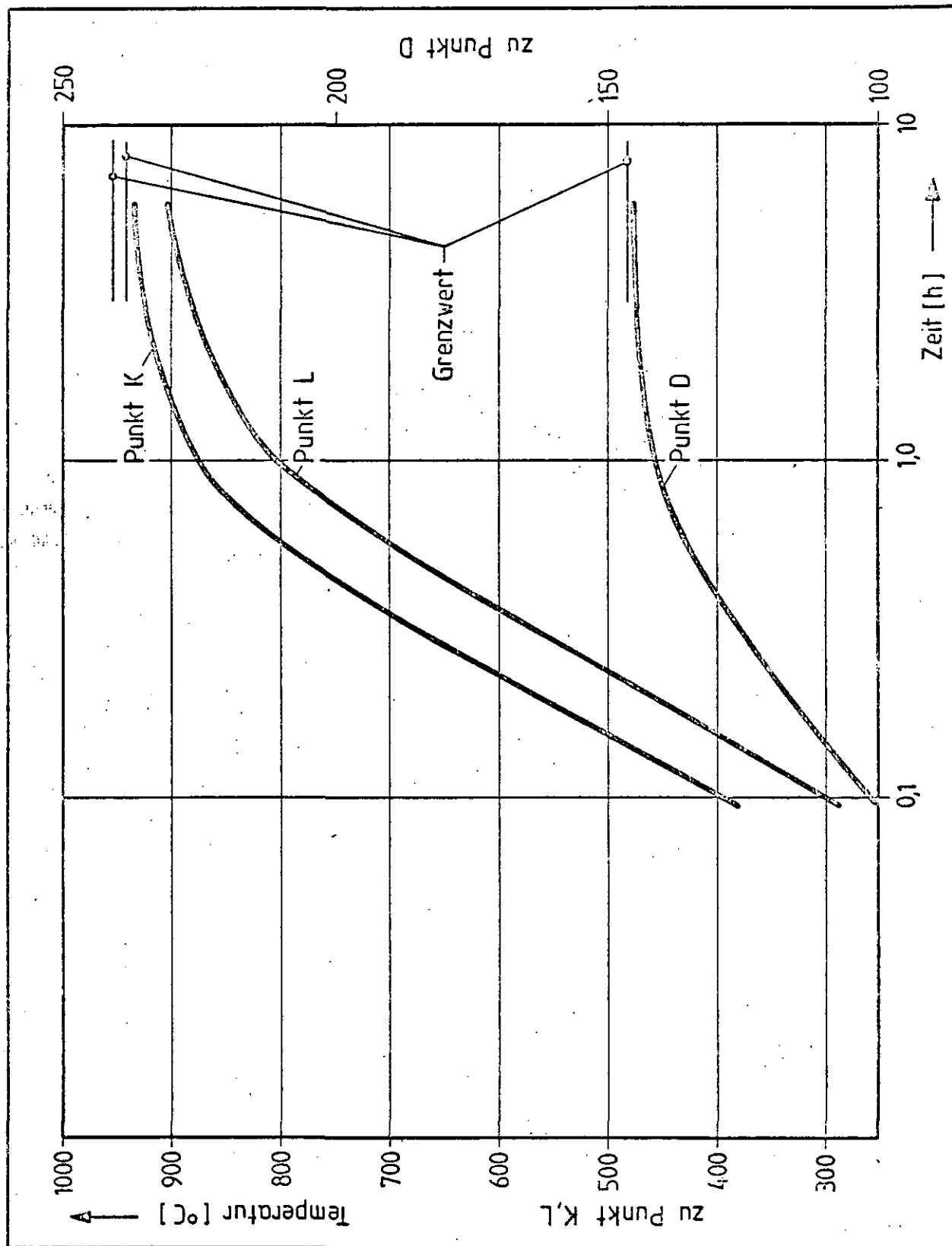


Abb. 34: Temperaturzeitverlauf für einige ausgewählte Punkte des Modells der Abb. 31.

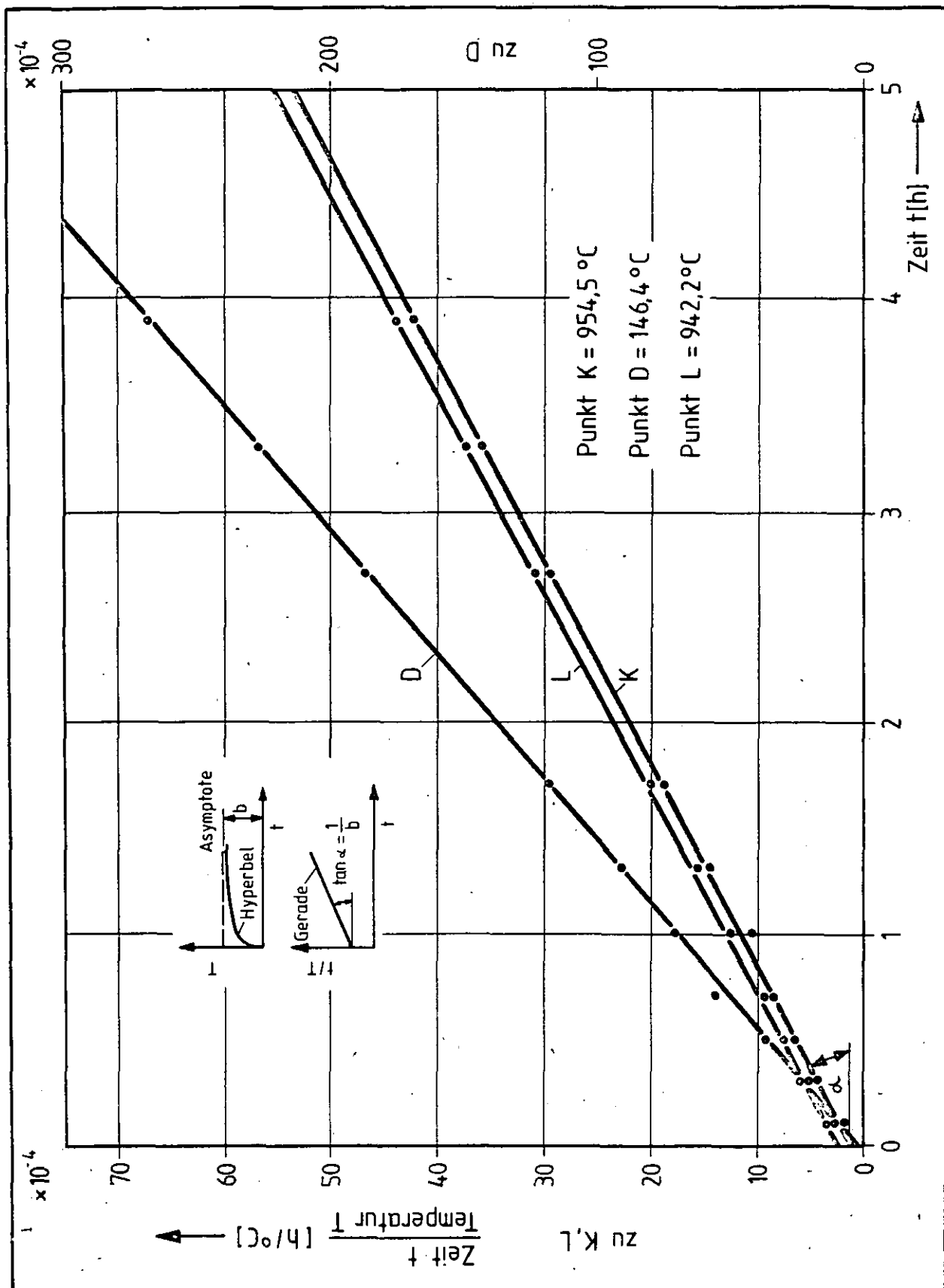
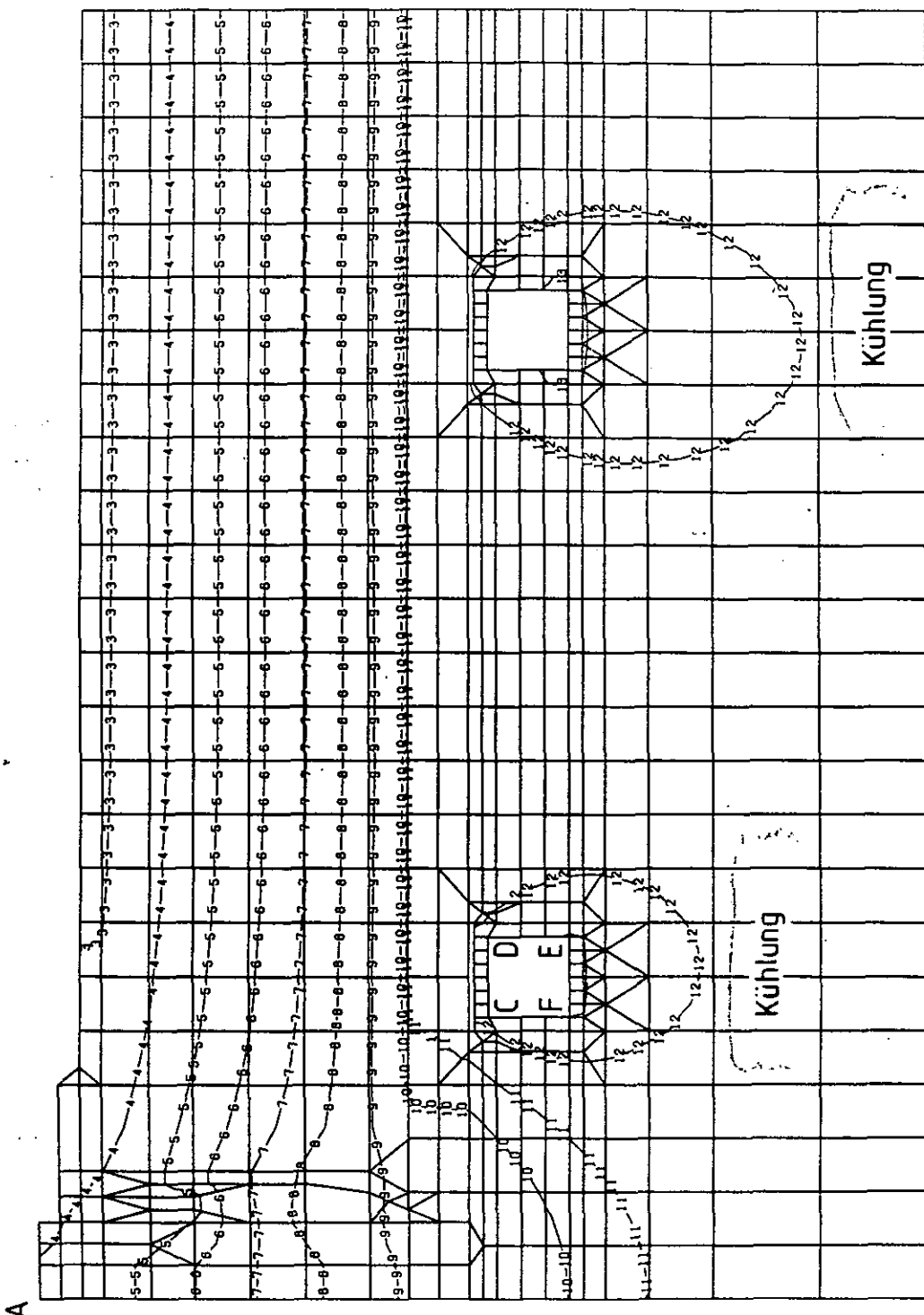


Abb. 35: Modifizierte Temperaturzeitverläufe der Abb. 34.

PNP: ROT.SYM.MODELL, KUEHLUNG JA JA, STÖRFALLTEMP. 850 GRAD

- GRAD C
- 1= 9.500E+2
 - 2= 9.000E+2
 - 3= 8.000E+2
 - 4= 7.000E+2
 - 5= 6.000E+2
 - 6= 5.000E+2
 - 7= 4.000E+2
 - 8= 3.000E+2
 - 9= 2.000E+2
 - 10= 1.000E+2
 - 11= 8.000E+1
 - 12= 6.000E+1
 - 13= 5.000E+1



MINIMALWERT: 4.933E+1 GRAD C
MAXIMALWERT: 8.190E+2 GRAD C

GEPLOTTETER BEREICH X MIN = 0.000E 0 Y MIN = -2.063E+2 Z MIN = 0.000E 0
MAX = 3.000E+2 MAX = 0.000E 0 MAX = 0.000E 0

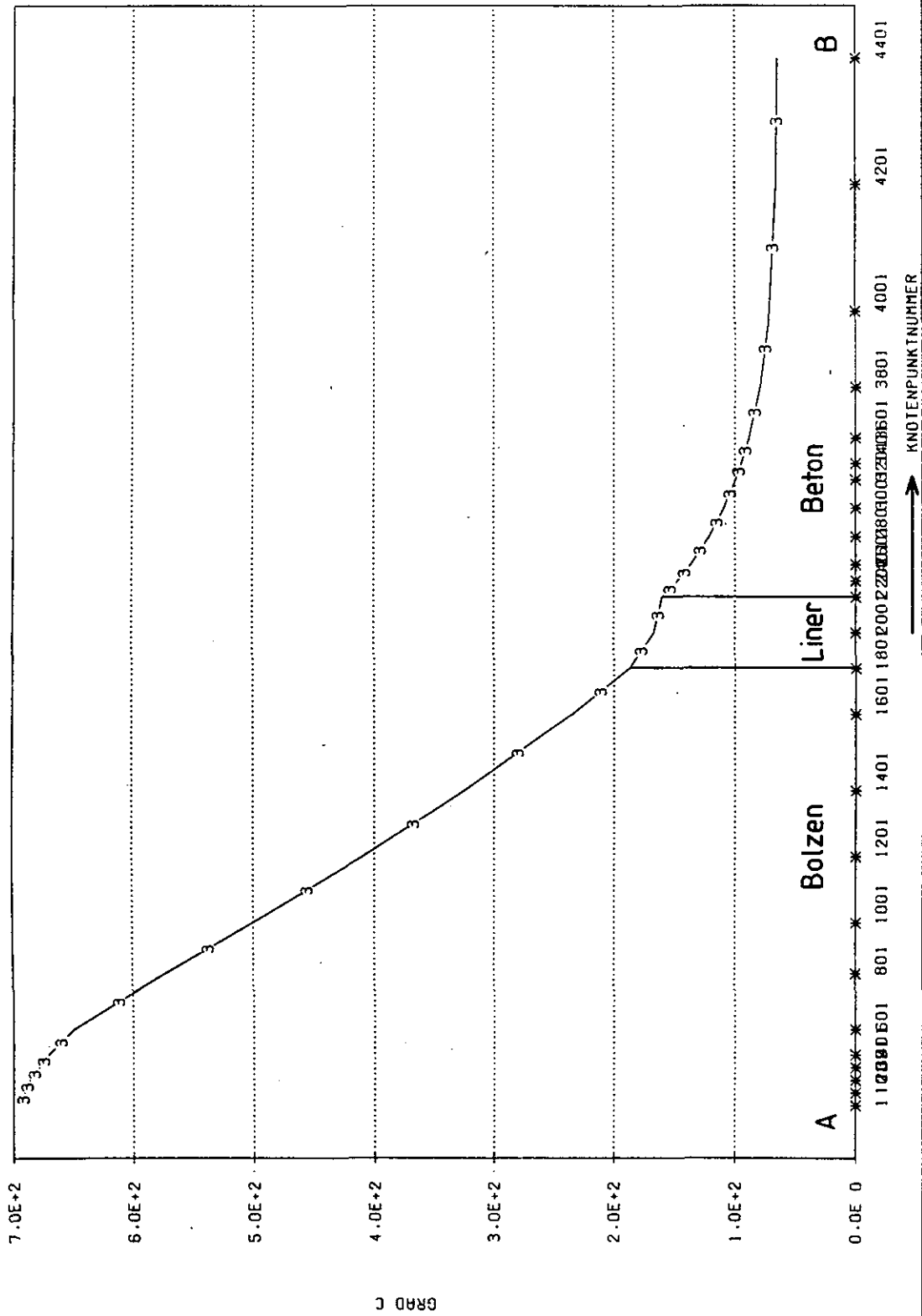
ISF-KFA JUELICH
BILD NR. : 2

ISOLIENPLOT
DREHW. = 0° KIPPW. = -90° PREZEW. = 0°
ISOLIEN, TEMPERATUREN, LASTFALL 3

R A P S

Abb. 36: Temperaturverteilung für eine Störfalltemperatur von 820° C mit Kühlung in beiden Strängen beim rotationssymmetrischen Modell.

PNP: ROT.SYM.MODELL. KUEHLUNG JA JA. STORFALLTEMP. 850 GRAD



R A P S

Schnitt A-B (Achse)

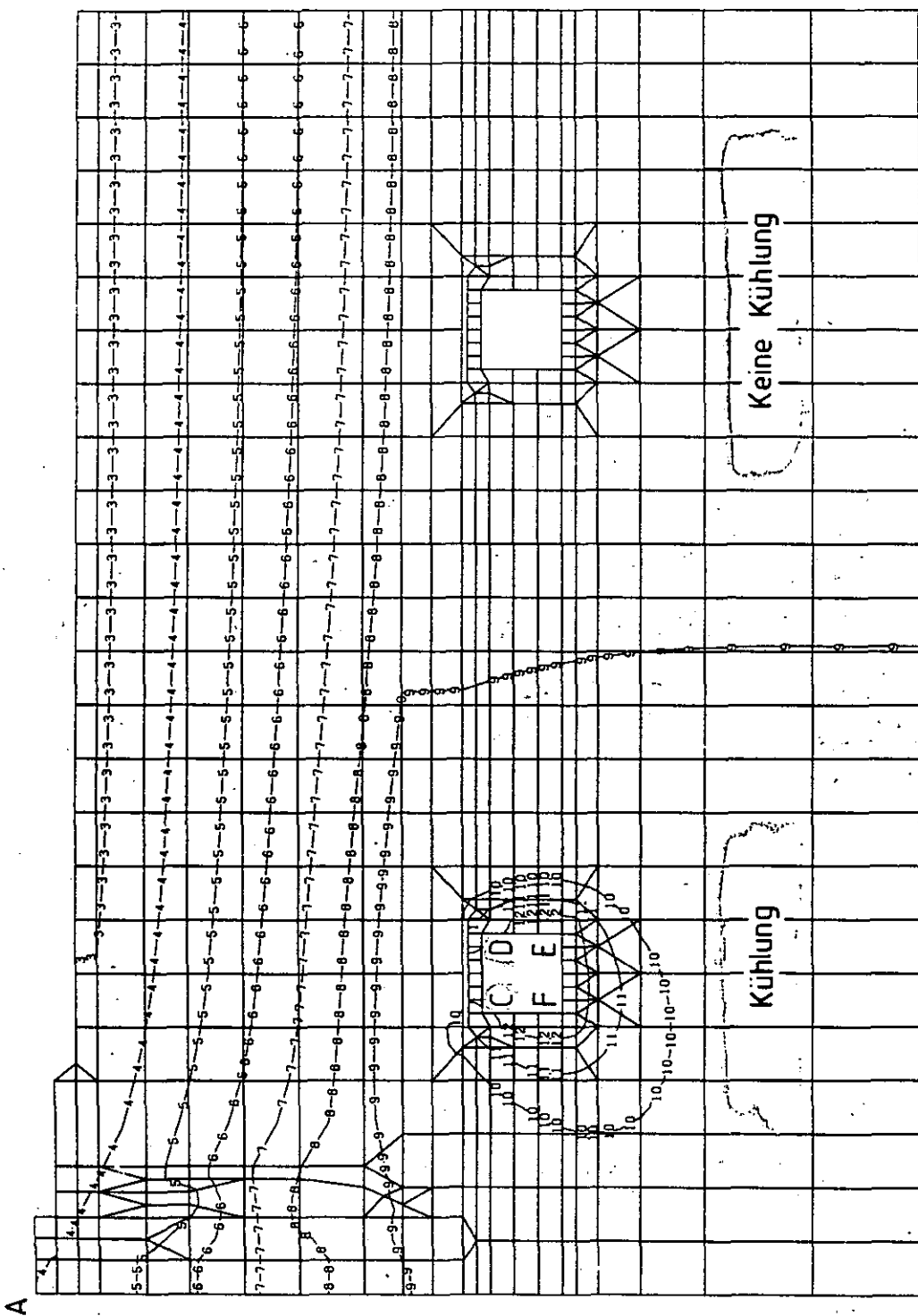
ISF-KFA JUELICH

BILD NR. : 5

Abb. 38: Temperaturverteilung in der Achse des rotationssymmetrischen Modells der Abb. 36.

PNP : ROT. SYM. MODELL. KUEHLUNG J N. STORF.-TEMP. 850 GRAD

GRAD C
 1= 9.9000E+2
 2= 9.0000E+2
 3= 8.0000E+2
 4= 7.0000E+2
 5= 6.0000E+2
 6= 5.0000E+2
 7= 4.0000E+2
 8= 3.0000E+2
 9= 2.0000E+2
 10= 1.0000E+2
 11= 8.0000E+1
 12= 6.0000E+1
 13= 5.0000E+1



MINIMALWERT: 5.073E+1 GRAD C
 MAXIMALWERT: 8.242E+2 GRAD C

GEPLOTTETE ELEMENTGRUPPEN: 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.19.

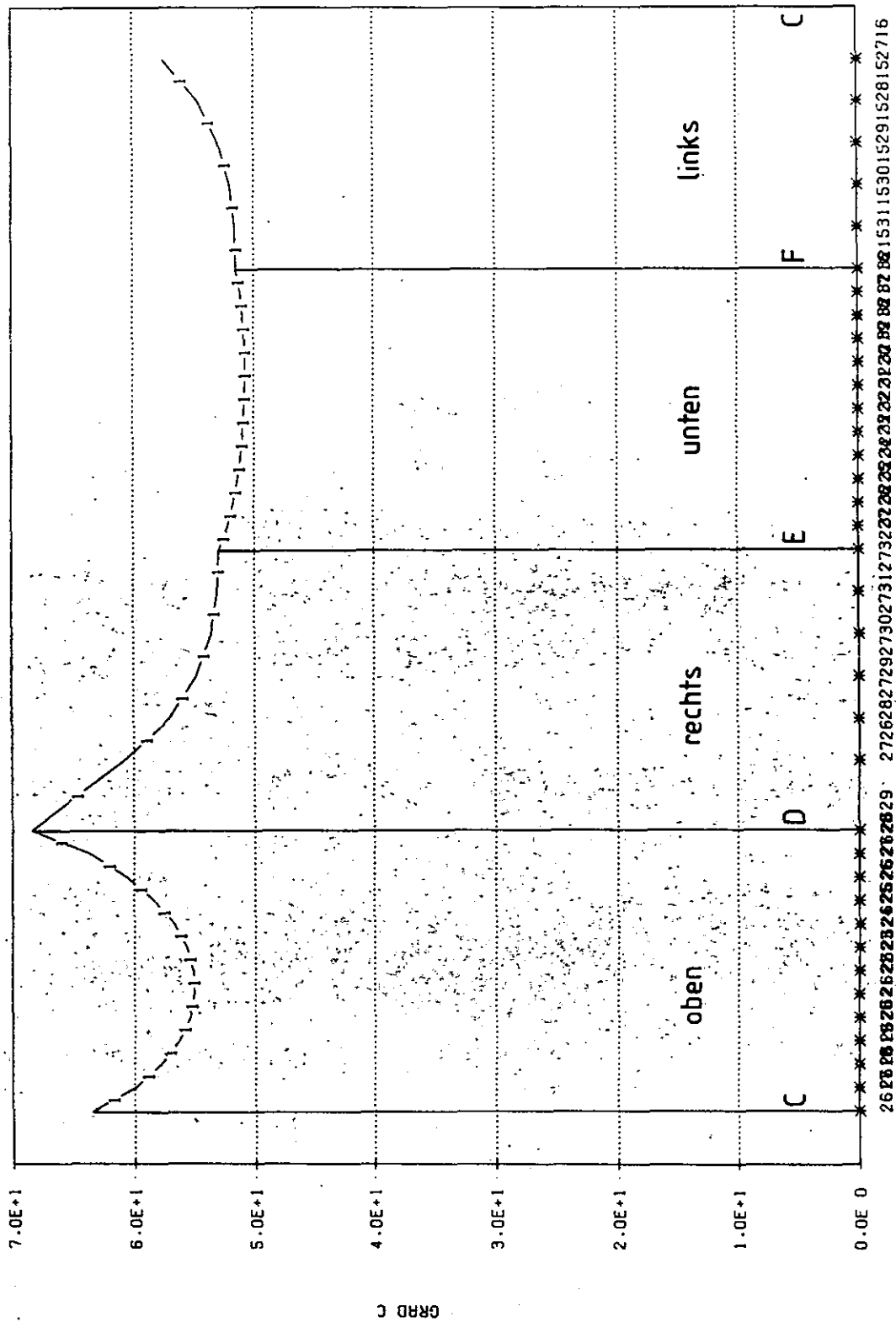
R A P S

ISOLINIEN. TEMPERATUREN. LASTFALL I
 DREHM. = 0°. KIPPM. = -90°
 LINIENPLOT
 PRAEZH. = 0°

ISF-KFA JUELICH
 BILD NR. : 3

Abb. 39: Temperaturverteilung für eine Störfalltemperatur von 820° C mit Kühlung nur im linken Strang beim rotationssymmetrischen Modell.

PNP: ROT-SYM. MODELL. KUEHLUNG JA (N) STORF.TEMP. 850 GRAD

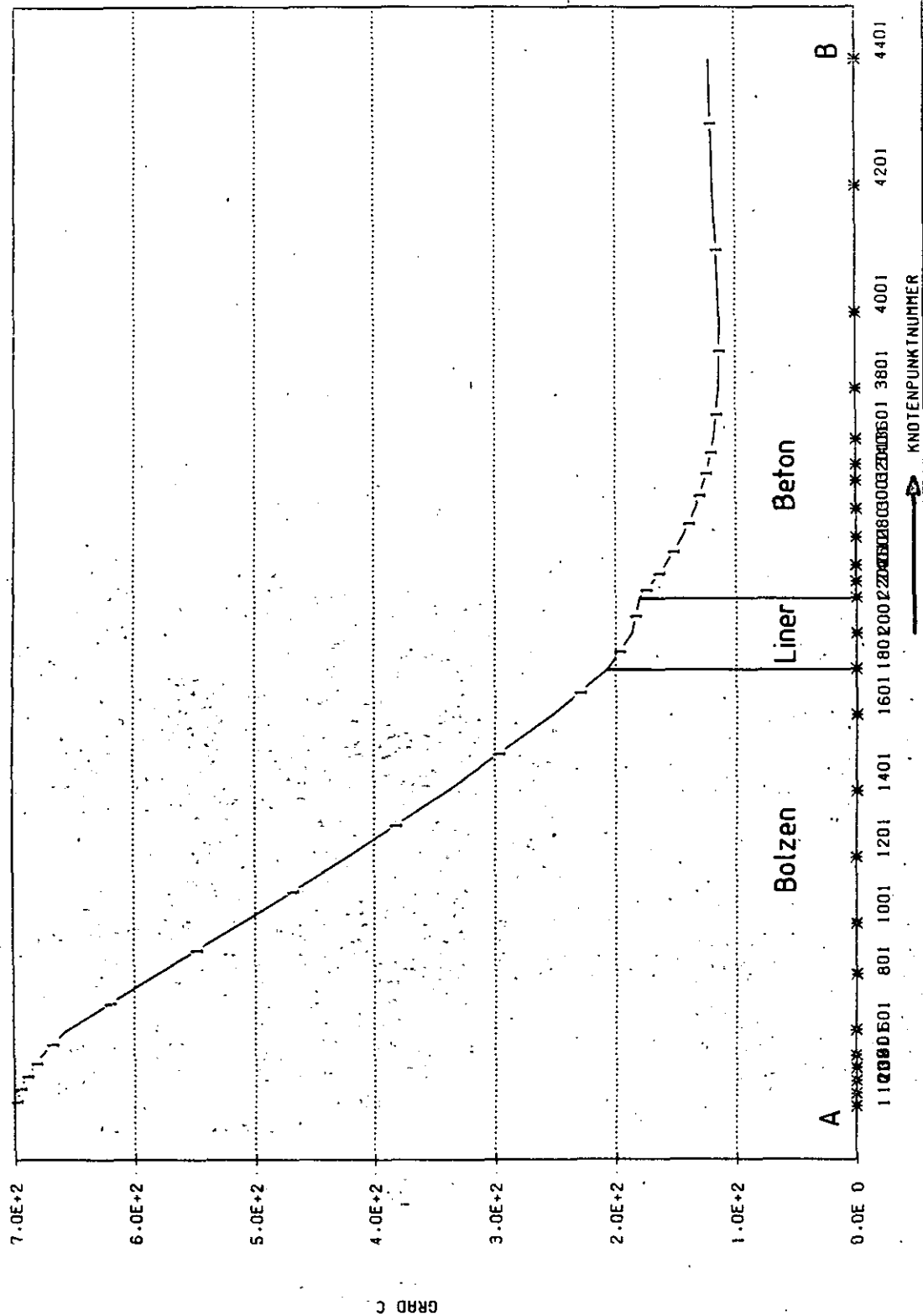


KNOTENPUNKTNUMMER

ISF-KFA JUELICH	Abwicklung linkes Kühlrohr	R A P S
BILD NR. : 4		

Abb. 40: Temperaturverteilung in der Wand des linken Kühlrohres der Abb. 39.

PNP: ROT-SYM. MODELL. KUEHLUNG JA (N) STOERF.TEMP. 850 GRAD



ISF-KFA JUELICH
BILD NR. : 3

Schnitt A-B (Achse)

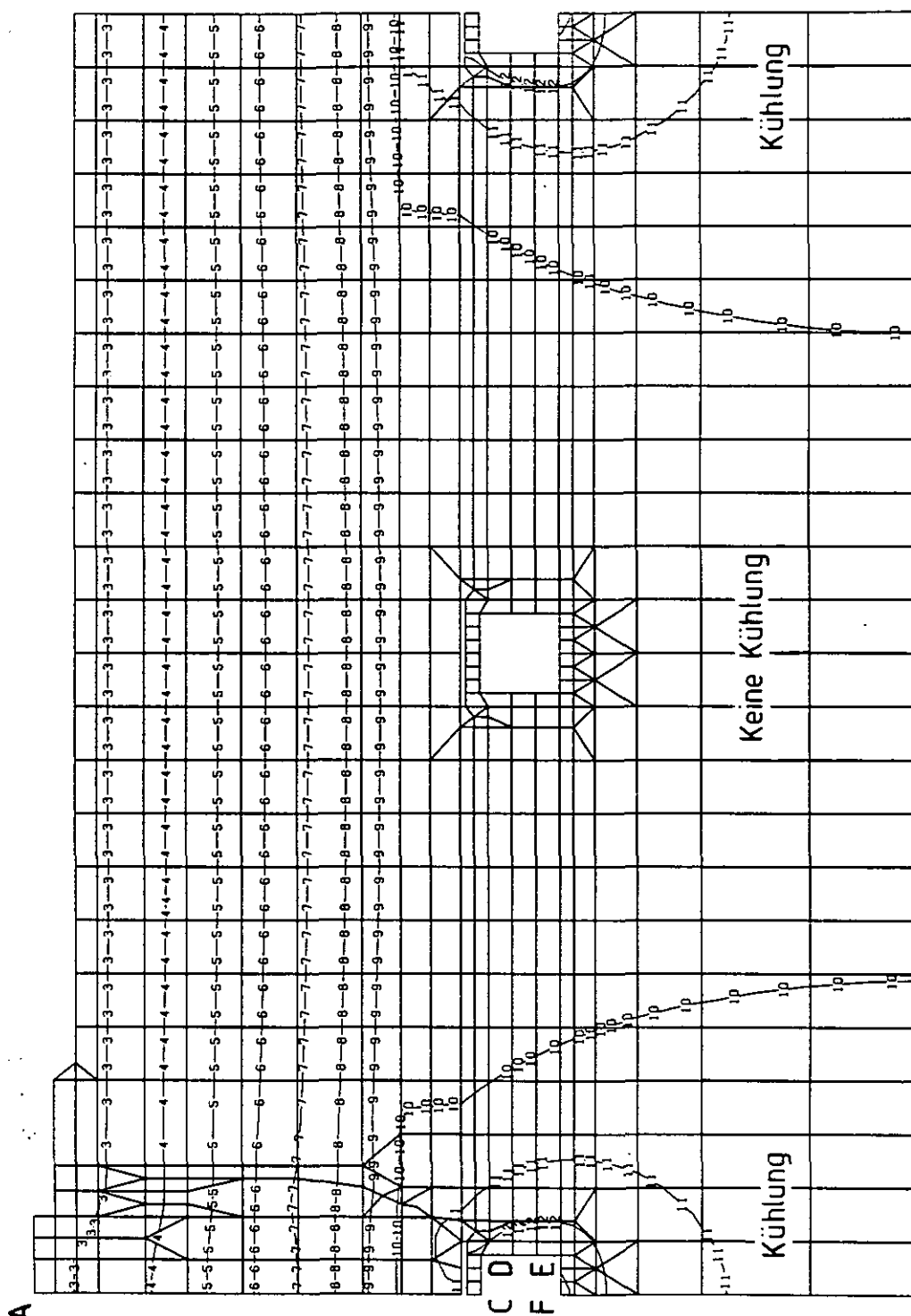
R A P S

Abb. 41: Temperaturverteilung in der Achse des rotationssymmetrischen Modells der Abb. 39.

PNP : EB. MODELL. KUEHLUNG JA N JA. STORF.-TEMP. 850 GRD.

GRAD C

- 1= 9.900E+2
- 2= 9.000E+2
- 3= 8.000E+2
- 4= 7.000E+2
- 5= 6.000E+2
- 6= 5.000E+2
- 7= 4.000E+2
- 8= 3.000E+2
- 9= 2.000E+2
- 10= 1.000E+2
- 11= 8.000E+1
- 12= 6.000E+1
- 13= 5.000E+1



MINIMALWERT: 4.981E+1 GRAD C
MAXIMALWERT: 8.200E+2 GRAD C

DEPLOTTE ELEMENTGRUPPEN: 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12.13.14.15.16.19

ISF-KFA JUELICH
BILD NR. : 2

LINEIENPLOT
DREHW. = 0° KIPPM. = -90° PREZM. = 0°
ISOLINIEN. TEMPERATUREN. LASTFALL 3

R A P S

Abb. 42: Temperaturverteilung für eine Störfalltemperatur von 820° C mit Kühlung nur in einem Strang beim ebenen Modell und Kühlrohr unter dem Haltebolzen.

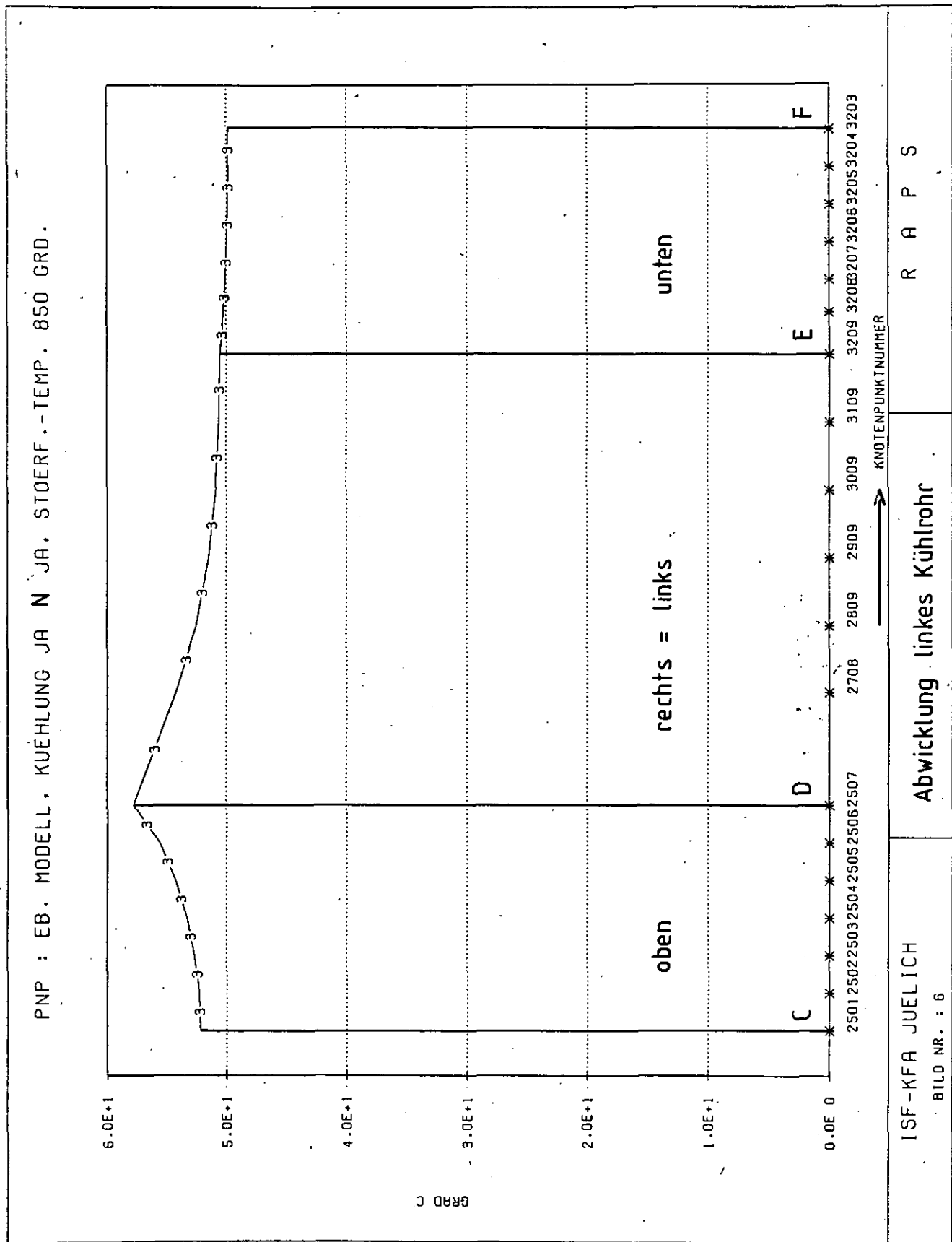
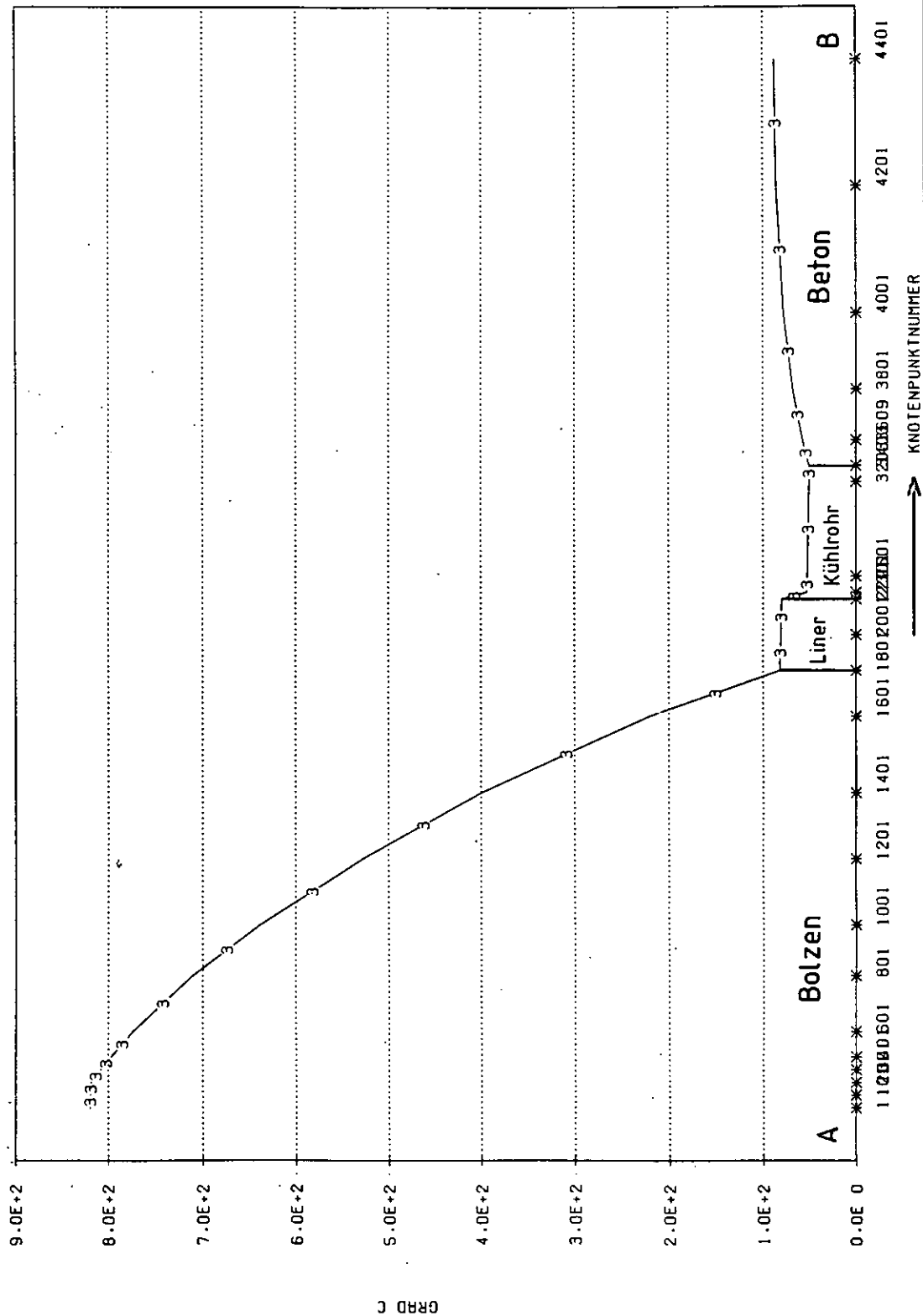


Abb. 43: Temperaturverteilung in der Wand des linken Kühlrohres der Abb. 42.

PNP : EB. MODELL. KUEHLUNG JA N JA. STORF.-TEMP. 850 GRD.



ISF-KFA JUELICH

BILD NR. : 5

Schnitt A-B (Achse)

R A P S

Abb. 44: Temperaturverteilung in der Achse des ebenen Modells der Abb. 42.